

## セルラーオートマトンを用いた山地単路部の交通シミュレーターの開発 *Development of the transportation simulator using Cellular Automata*

佐々木 恵一\*,宮西 健司\*\*,田村 亨\*\*\*,斎藤 和夫\*\*\*\*

Keiichi SASAKI\*, Kenji MIYANISHI\*\*, Tohru TAMURA\*\*, Kazuo SAITOU \*\*\*\*

### 1.はじめに

本研究では、交通情報を道路区間で提供し、これを交通安全に繋げることを考える。このような研究は、アメリカの FHWA においてすでに始まっており、GIS 上に交通事故多発地点などのデータを載せてドライバーに示すというもので、社会実験をとおした有効性の検討がされるまでに至っている。(Interactive Highway Safety Design Model : IHSDM と呼ばれている)。この実験対象は、山地部の数十 km 区間であり、交通安全に関わる「線」情報を提供することに特徴がある。FHWA の Dr. Krammes へのヒアリングによると、これをモデル化して普遍性を持たせた分析はまだ行っていないとのことである。そこで本研究の目的は、山地単路部区間に交通安全に関わる情報提供を行った場合の効果を定量的に把握する交通シミュレーターの開発を行うことである。具体的には、セルラー・オートマトン(以下 CA と略す)を用いて交通シミュレーターを構築する。

### 2.問題の設定

CA はシステム内の構成要素をセルという局所ルールを持った要素に分解し、そのセルを並列処理で扱う事で、システムの複雑な挙動を再現するモデル概念である。CA の最大の特長は、局所ルールが全体に及ぼす影響を取り込めることである。

本研究では、CA が持つ「各セルは単純な局所ルールに基づいて挙動するにもかかわらず、全体の挙動は予測が出来ない様な複雑な振る舞いをする」という概念を交通シミュレーターへ適用する。具体的にはセルを一車両とし、道路走行環境(交通量、道路線形、情報)によ

り車両の挙動(局所ルール)を構造化する。車両の挙動と道路走行環境の関係については、次の2つを考える。

①ドライバーは 30km の区間の道路線形や事故多発地点情報を事前に知って車を運転する。

②前の車に追随した走行をする。

本研究においては、①がある場合と無い場合の走行の差異から、情報量の有無によって全体の交通流がどのように変化するかを把握できるモデルを構築することであり、その有効性を検討する社会実験を行っている。

### 3. 社会実験

#### (1)アンケート調査の概要

実験は平成 11 年 11 月 18 日から 20 日までの 3 日間で行った。被験者は 50 歳までの男女とし、普通乗用車を対象として行った。場所は中山峠頂上の道の駅から実施し、国道 230 号喜茂別方面に向かう車を対象とした。情報を提供する道路線形の距離は山頂部からの 11.5km とし、道路線形とトンネル等の危険地点についてのみ提供した。

また、「線情報」のドライバーに与える影響を計測するために、被験者に情報提供を行う場合と行わない場合の 2 種類を設定し、それぞれの場合においてその運転挙動として、速度・加速度・角速度、及び走行位置を記録できるセーフティレコーダーを用いた。このセーフティレコーダーは上記の各データを 0.1 秒間隔で記録することが可能であり、GPS を用いて地図上の地点と車両の走行位置を対応させ記録することができる。

被験者に与えた情報は、次のとおりである。

①パーキングの出口は下り勾配が急である。

②パーキングを出るとゆるい左カーブがあり、その後右カーブの橋は道幅も広く、視界も広いので比較的安全である。

③ゆるい左カーブを抜けると、大きな標識に急カーブ注意と書いてあり、実際に結構急である。その右カーブ

keyword : Cellular Automata, ITS, 線情報

\* 正会員 工博 函館工業高等専門学校助手 環境都市工学科  
TEL & FAX : 0138-59-6498

E-mail : sasaki@hakodate-ct.ac.jp

\*\* 学生員 室蘭工業大学 建設システム工学科

\*\*\* 正会員 工博 室蘭工業大学助教授 建設システム工学科

\*\*\*\* 正会員 工博 室蘭工業大学教授 建設システム工学科

の途中から、トンネルに入る。そのトンネル内で更にカーブがきつくなっている。

- ④トンネルを抜けた後の左カーブで事故が多発、カーブを抜けると、しばらくは緩いカーブの連続である。
- ⑤中央分離帯がなくなりしばらく行くと、曲率半径 100 メートルの急な S 字カーブがある。

情報に関しては、道路線形が複雑な対象道路の前半部約 5km とし、後半は特に線形に関する情報は与えなかった。また本研究では、実験終了位置において、情報提供に関する意識調査のアンケートを行った。

### (2)調査の考察

実験は 3 日間にわたり実施されたため、路面状況が実施日により異なっており、ドライバーの運転挙動が日によって大幅に変動した。本論文では、①車両の種類が等しい、②路面状況が等しいという条件を満たすデータを比較し、分析を行った。図 1、2 は車両が MT 車であり、走行時の天候は晴れ、路面状態は乾燥で、情報を与えなかった場合の走行状況を示した例である。本調査では、この様に走行地点に対応した速度変動と角速度変動が記録される。

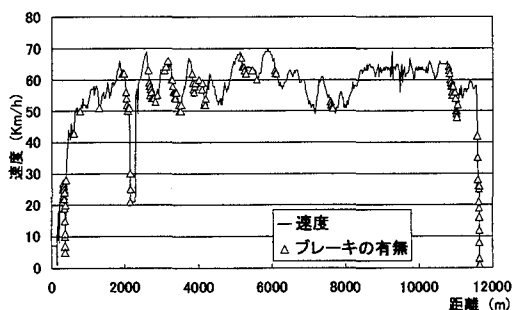


図 1 情報を与えなかったドライバーの速度・ブレーキのグラフ

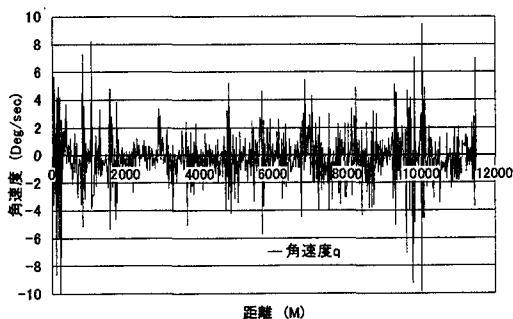


図 2 情報を与えなかったドライバーの角速度のグラフ  
以上について情報を与えたドライバーの交通挙動と

比較した結果、①情報を与えたドライバーのブレーキを踏む回数が少ない、②車の危険挙動に関する角速度が、情報を与えたドライバーの方が、与えなかったドライバーよりも小さい、ことが分かった。そのため、情報提供によりドライバーの運転が変化する可能性のあることが本研究より明らかとなった。しかし、情報を与えすぎて、あまり覚えていなかったという人も多く、今回の調査の情報量は多すぎたと考えられる。

### (2)アンケート結果より

情報を与えたほとんどの人が今回の情報について「まあまあ役に立った」と答えた。しかし、与えた情報のうち覚えていた箇所は 3 箇所ぐらいであったとの申告もある。調査を実施した時期が雪の降りをはじめということもあり、ほとんどのドライバーが路面状態を特に気にしていた。提供した情報は、乾燥路面での情報を重視していたので、運転には影響しなかったと答えた人が多かった。しかし、今回のような情報が道の駅などにあれば、道の駅に立ち寄る割合が増えるかとほとんどの人が答えた。

以上より、線情報を正確にドライバーに伝えるためにはリアルタイムな情報がよいと思われる。例えば、今回の調査で用いた地図同様の情報が、走行中も随時入手できる状態が好ましい。この情報は、車のフロントガラスにこれから走行する道路の状態を随時表示できるので、通常の走行にはほとんど障害を与えず、走行注意箇所の手前でその情報を入手しながら運転することが可能である。またこの情報は夜間及び、霧や吹雪といった視界が悪い状態時でも使用が可能なものである。

## 4. CA による交通シミュレーター

### (1)本シミュレーターの位置付け

まず、交通シミュレーターを 3 つに分類し、その特徴をまとめる(図 3 に 3 つの概念を示し、それぞれの番号に応じて以下に説明する)。

①従来型のシミュレーターは車両 A の挙動は前方の車両 B,C に影響を受けながら一期前の交通流の状況によって自らの行動が決まる、というものである。

$$A_{t+1} = f(A_t, B_t, C_t, \dots) \quad \dots (1)$$

この際、車両 A,B,C にはそれぞれに共通の局所ルールを持たせる。これは、前方の車両との衝突を避けるため、ある程度の車間距離をとるという行動であり、前方の車両(B<sub>t</sub>)がブレーキを踏むと後方の車両(A<sub>t+1</sub>)も踏む。この概念を用いて交通流を表現している。

②複雑系の先行研究である藤井らの研究は、個人の経路選択を対象としているが、あえて、CA の概念で示すと、時間間隔を1日とし、前日の走行から知覚走行時間( $t_{ij}$ )を体験・学習し、内部ルールを変更し次の時間へ移行するものと位置付けられる。

$$A_{t+1} = f(A_t, t_{ij}) \quad \dots\dots (2)$$

③本研究で提案する CA は、内部ルールは一定(全てのドライバーが共通に持っている)のものとして、周辺環境が変わることにより挙動が変わる様子を分析する。周辺の環境とは、前方の車両の有無( $B_i, C_i, \dots$ )、と道路線形・交通事故多発地点などの関する情報である。

$$A_{t+1} = f(A_t, B_i, C_i, \dots, I) \quad \dots\dots (3)$$

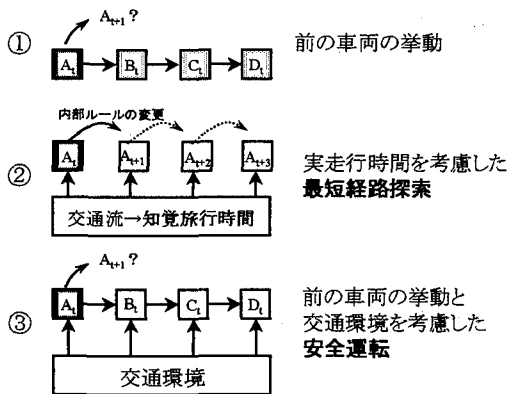


図3 交通シミュレーター概念図

(2) 交通情報の取り込み方

ここで取り上げる交通情報の特色は、走行区間に関する「線」情報となっている点で、この情報を事前にドライバーに与えることにより、その車の走行速度がどのように変化するかを分析の対象とする。この情報の与え方で興味深い点は①連続した情報を人ほどの様に認知し行動するかという点と、②連続した区間情報の提供の仕方についての検討であり、提案する交通シミュレーターはこの2点を分析するために構築するものである。具体的には、道路走行環境を、「前に車があるか否か(交通量)」と、「交通情報のあたえ方(有無を含めて)」に分け、道路走行環境の違いによる交通流の状況を再現するモデル構築を考える。この考え方はアメリカ FHWA で既に打ち出されているものであり、本研究の特長はモデル化を行っている点にある。

5. 分析結果

(1) CA 交通シミュレーター概念

本研究で扱う交通流は、独立した一台一台の車両の挙動からなる現象として、各車両の挙動は道路線形と交通量により決まる、と考える。運転挙動に関わる要因としては、周囲の車両との車間距離と道路線形による速度調整に分類できる。周囲の車両との車間距離は、衝突・追突事故の回避に必要であり、前方の車両との距離を保つための速度調整である。また、道路線形は急カーブや見通しが悪い場合の徐行などによる速度調整である。両者とも車両が独立に判断し動作へ移るが、周囲の車両と道路線形によって影響を受ける(図4)。

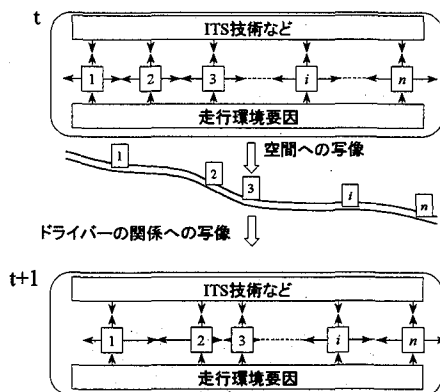


図4 CA交通シミュレーター概念図

内部ルールの定式化については以下のように考えた。

$$M_i(t+1) = F(l(t), c(t), s, p)$$

$$l(t) = f(r, i, \dots, M_i(t), I)$$

$$c(t) = g(l_c, \dots, M_i(t), I)$$

ここで、

$M_i$ : ドライバー*i*の交通状況

$l(t)$ : 道路線形情報

$r$ : 曲率半径

$i$ : 縦断勾配

$c(t)$ : 前方の車両との相互作用

$l_c$ : 車間距離

$s$ : 路面の状況

$p$ : 個人属性

$I$ : 情報

ここで、道路管理者側からの交通環境の質の向上策としては道路線形と路面の部分にある。道路線形については①線形の改良や道路の拡幅、②走行支援のための道路線形情報の提供、また路面については①路面改善(融雪剤の散布など)、②路面状況の情報提供などがあげられる。本研究では交通環境質の向上策とし

て情報をとりあげており、特に道路線形情報の提供が交通行動にどのような影響があるかをモデル化した。モデル化に際して重回帰分析を用い、独立変数に視距、曲率半径、縦断勾配、説明変数に速度とした。

## 6. シミュレーション結果

社会実験を行い交通流の違いをデータ化し、モデルパラメータを決定した。モデリングの問題により今回使えるデータは6件であったが、そのデータを用いて重回帰分析を行い内部ルールとし、相互作用のない1台の車両が対象路線上を走行した場合のシミュレーションを行った。図5、6は実測データとシミュレーション結果を視距-曲率半径-速度の関係で表したものである。シミュレーション結果は実測と比べて全体的に速度が低下しているが、これは実測以外の要因での速度が伝播したものだと考えている。

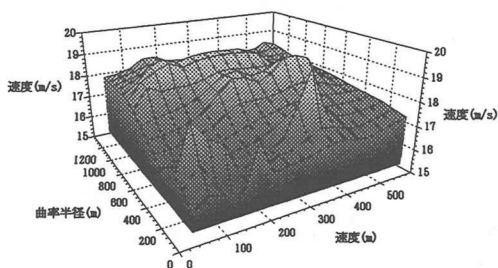


図5 視距-曲率半径-速度の関係(実測データ)

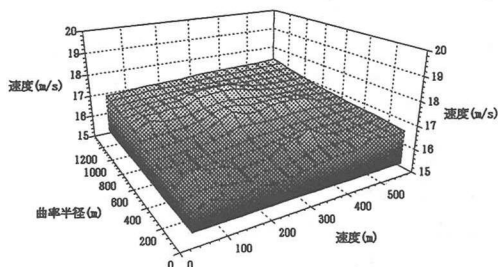


図6 視距-曲率半径-速度の関係(シミュレーション結果)

## 7. おわりに

社会実験を通して線情報はドライバーには伝わりにくくことが明らかとなった。それは、ドライバーが情報についてまだ積極的に取り入れようとしていないからであると考えられる。標識についても同じことが伺える。「急カーブ注意」と書いてあっても、ほとんどの人が余りスピード

を落とさずにカーブに進入していくという傾向が強く、情報を覚えてまでは、運転に役立てようと思っている人は少ないようである。それよりも凍結地点に関する情報が欲しいというドライバーが多かった。

以上を要するに、道路管理者側へ期待される社会基盤整備の範疇が、時間的な方向へもシフトしてきたといえよう。ドライバーに与える情報については、リアルタイムな情報が好ましいと考えられる。

また交通シミュレーターの開発を行い、次の3点について分かった。

- ①CA について、自己組織化理論としての位置付けを明確にできた。
  - ②CA を用いた交通シミュレーターの概念を整理し、実測データを用いて車両相互作用のない場合のシミュレーションを行い、適用可能性があることを示せた。
  - ③点情報・線情報を定義し、道路利用者に対して有効な情報の提供を検討した。
- 今後の課題としては、次の2点である。

- ①相互作用の導入を図り、内部ルールをよりの確に決定すること。
- ②交通安全情報としての線情報の導入とその評価をすること。

本研究では交通環境改善の支援策の一方法としての交通情報の取り込み方を問題にしているが、情報の量、質、提供方法などまだ多くの議論すべき点があり、これらは全て今後の課題である。

本研究は、土木学会土木計画学研究委員会において1999年度公募採用された「交通事故とITS」の1テーマとして、遂行したものである。

## <参考文献>

- 1) 中山,藤井,北村:ドライバーの学習を考慮した道路交通の動的解析:複雑系としての道路交通システム解析に向けて,土木計画学研究-講演集No.21(2),pp771~774,1998年11月
- 2) 加藤恭義,光成友孝,築山洋:セルオートマトン法-複雑系の自己組織化と超並列処理-,森北出版株式会社,1998年
- 3) M. Resnick, *Turtles, Termites, and Traffic Jams - Explorations in Massively Parallel Microworlds*, A Bradford Book, MIT Press (1995).
- 4) K. Nagel and C. L. Barrett, *Int. J. Mod. Phys. C*, 8, 505-525 (1997). M. Rickert and K. Nagel, *ibid*, 8, 483-503 (1997).