

交通安全に関わる山地単路部の交通シミュレーターの開発

-セルラーオートマトンの適用-

Development of the transportation simulator for traffic accident

- Application of Cellular Automata -

佐々木 恵一*, 田村 亨**, 正岡 久明***

Keiichi SASAKI*, Tohru TAMURA**, Hisaaki MASAOKA***

1.はじめに

これまでの交通事故分析の多くは、事故発生地点周辺の道路線形、見通し、路面状況、発生時の気象条件、またドライバーの運転経験、健康状態などの要因を取り上げて事故との関係を把握してきている。その意味では、事故が起こった地点を分析対象として解析するのが一般的である。また、近年の交通事故対策は、地点特有の要因によって引き起こされる可能性があることと、交通事故データが体系的に整ってきたために、事故多発地点を特定して、それぞれの地点において交通安全対策を行う動きになってきている。勿論、この中には、ITS などの交通情報を取り込んだ施策の検討が始まっている。

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。この様な研究は、アメリカの FHWA においてすでに始まっている。これは、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、社会実験をおと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から決まる、と考える。交通安全に関わる要因は、周囲の車両との車間距離と道路線形による速度調整とに分類できる。周囲の車両との車間距離は、衝突・追突事故の回避に必要な距離であり、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の調整である。両者ともそれぞれの車両が独立に判断し、動作へ移るが、周囲の車両との関係と道路線形により決定される。そのため、各セルの次の挙動を決定するという局所ルールの議論が重要となり、本研究ではこの部分に関してのモデル構造の提案を行う。

ところで、CA は複雑系の分析手法の一つとされ、これに関係した先行研究として、複雑系を交通行動へ適用した藤井ら¹⁾の研究がある。本研究との関連から藤井らの研究をまとめると、この研究は、①時間単位は1日、②局所ルールは個人の経路選択構造、③道路ネットワーク上の交通量配分による知覚走行時間より、全体の交通の流れにおける局所ルールは更新される (局所ルールが全体に及ぼす影響を更に局所ルールの変更として取り込む) という自己組織化 CA と言える。

本研究では、CA が持つ「各セルが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よう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

keyword : 交通安全、ITS

* 正会員, 修士, 函館工業高等専門学校 環境都市工学科
TEL & FAX : 0138-59-6481

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

** 正会員, 博士, 室蘭工業大学 建設システム工学科

*** 正会員, 修士, 株式会社シー・イー・サービス システム開発室長

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前の車に追従した走行をする。

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にある。実際には、社会実験を通して、情報の有無による交通流の違いをデータ化し、それを用いたモデルパラメータの決定が必要であるが、本研究の段階では、モデルの提案に止まっている。

本論文の構成は、3章において、CAの概念と交通シミュレーターを作成する上で重要となるCAの局所ルールについて、簡単な交通シミュレーションモデルをとおしてまとめる。4章では、本シミュレーターの位置付けと交通情報の取り込み方を述べる。

3.CAによる交通シミュレーション

従来の交通シミュレーションの多くは、以下の2つの条件下でCAを構成した場合と、同等であると言われている²⁾。

- ①時間単位を数秒、または短い時間
- ②局所ルールは「車の走行挙動は周辺の交通の流れに影響する」

図1は、CAによるシミュレーションの概念図である。

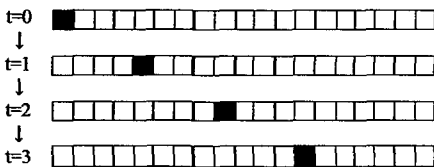
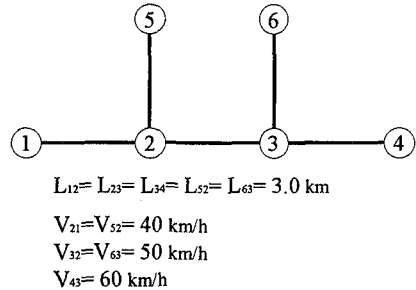


図1 CAによる交通シミュレーション

CAにおいては、まずリンクを分割してセルとし、そのセルに車両が存在するか否かを時系列で追跡していく。図1では車両が存在するセルを■で示している。そして時間が進むに連れ■が移動することで、車両が走行する状態を示している。この例では一定の数だけセルが移動しているが、複数の車両が存在する場合、車間の相互作用により移動する数が増える。M. Resnick³⁾らは、警察のスピード違反探知装置の周りで渋滞が進行している様子をシミュレーションしている。また、K. Nagel⁴⁾らはCA法により交通流をシミュレー

トするTRANSIMSを開発し、アルバカーキ市(ニューメキシコ州)の実際の交通を再現している。この様に、CA法の概念は交通シミュレーションでは一般的な概念であり、多くの実績を上げている。

筆者らは図2に示す仮想ネットワークでCAによる交通シミュレーションモデルの開発を試みた。ノード間距離、制限速度は図中に示した。OD交通はノード④⑤⑥から①へ向かい、交通結節点では信号により走行を制御することとした。各リンクは1mで分割してセルを構成し、1秒間隔でシミュレーションを行った。また、シミュレーション開始時の出発時刻はノード④⑥の車両がT=-540(秒、以下省略)、ノード⑤の車両がT=-360とし、車両はT=0までにノード①へ到着するように出発時刻を変更しながら、繰り返し計算を行った。これは、T=0までに到着できない場合は、超過時間分だけ次のシミュレーション時に出発時間を早めていくよう工夫したためである(自己学習)。



OD交通量
 5→1; 80台
 6→1; 80台
 4→1; 100台
 各ノードでの信号のサイクル: 1 min
 →緑; 28 sec, 赤; 32 sec

図2 ネットワーク図

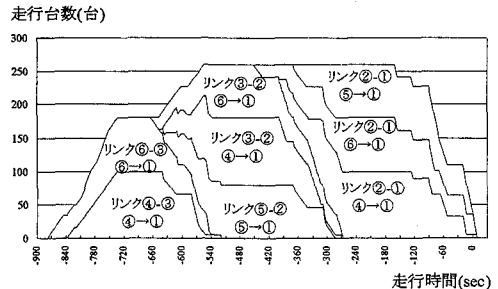


図3 シミュレーション結果

図3は10回繰り返し計算をした結果であり、この図は各リンクへの車両の流入度合いを示したのものである。

シミュレーションの結果、出発時間が最も早いのはノード⑥の車両で $T=-816$ であり、 $T=-700$ までに全車両が出発する。ノード④の出発時間については $T=-799 \sim -680$ 、ノード⑤は $T=-643 \sim -544$ である。この結果より、空間的に最も近いノード⑥においても出発時間は他に比べて2分程度しか遅くない。これは、他の地域が出発時間を早めることにより交通量の増加する時間も早まる。そのため、交通量の増加する時間よりも先に目的地まで達するようにしなくては時間内に到達できないことを示している。

以上のCAを用いた交通シミュレーションにより、分析手法としてのCAの特長を把握できた。これにより、次章で扱う、交通シミュレーターにおける局所ルールの与え方などの基礎的知見が得られた。本シミュレーションでは各セルの局所ルールは前方の車両がない時は一定の距離だけ進むという簡単なものであった。次章では、この局所ルールに注目し、ドライバーの挙動を道路走行環境に応じてシミュレーションする交通シミュレーターの構築方法を述べる。

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以下の3つに分類し、その特徴をまとめる(図4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)。

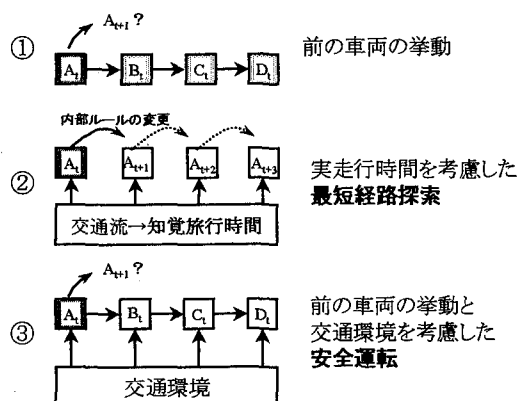


図4 交通シミュレーター概念図

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)がブレーキを踏むと後方の車両(A_{t+1})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_y)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。

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

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、周辺的环境が変わることにより挙動が変わる様子を分析する。周囲の環境とは、前方の車両の有無($B_t, C_t, \dots$)、と道路線形・交通事故多発地点などの関する情報(I)である。

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

(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様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連続した情報を人は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、である。

①について、例えば、日常行動として、つづらおりの道路に関する情報を事前に得たとしよう。人は4つのヘアピンカーブがあり、そのうち2つめがきつく、4つめが左折カーブで事故が多発しているなどという認知をするであろう。これは、個々の地点情報を独立に認知するのではなく、連続した情報として捕えていることを意味する。②について、一般にカーブが連続して多くあり、速度を落とさざるを得ない区間では事故が少なく、単調な緩い下り坂が続く区間で事故が多いことはよく聞くとこである。この様な経験則を踏まえた交通情報として、個別地点ごとに危険箇所を提示するのではなく、連続した区間情報とすることで、危険箇所の効果的提示方法が考えられる可能性は高い。

本研究で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)」の2つに分け、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。

ドライバーに与える情報については、FHWA の IHSDM で示されている方法を用いる。この方法は、走行に注意すべき地点(主に道路線形に起因する)に黄色旗を、交通事故多発地点に赤色旗を立てて、その GIS 情報をその区間をこれから走行するドライバーに見せるというものである(概念図は図 5)。

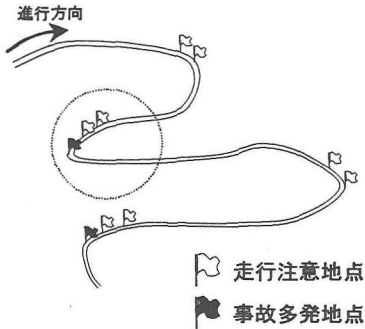


図 5 ドライバーに事前に提供するマップ例

モデル構築においてはニューラルネット(NN)を内包した CA を考えている。具体的に CA で与えるセルの局所ルールは 2 つの要因からなり、1 つは 3 章で示した前を走る車の走行状態に対応した速度変化であり、他の 1 つは、交通情報に反応して独自に走行速度調整するというものである。

後者のルールづくりは、社会実験を経て入手したデータを用いて、NN モデルで学習させ、それを局所ルールにすることを考えている。用いる NN モデルは階層型 NN モデルであり、情報を入力し、移動する距離を出力するように学習を行う。この入力-出力方法を用いることで、セルに局所ルールを簡単に導入することが出来る。シミュレーターでは、2 つの局所ルールを同時に取り込み、2 つのうちより厳しいルールに従って車は走行すると考える。

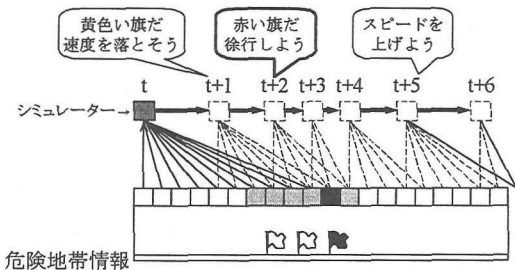


図 6 NN-CA 交通シミュレーター

本シミュレーターは社会実験データを用いて構築される

ものであるが、現在、模擬データを用いてモデル構築中である。本モデルを用いることで、例えば、全体の何%に情報が伝達できたならば、何%の事故を減らすことが出来るという結果が得られると考えている。

5. おわりに

本研究は、山地単路部区間の交通安全に関わる情報提供を対象として、その効果を把握するための CA 交通シミュレーターの構築方法を提案したものである。本研究により、以下のことが分かった。

① CA を用いた交通シミュレーションを構築し、局所ルールが全体に及ぼす影響について検討した。

② CA を用いた交通シミュレーターの概念を整理し、NN モデルを内包した局所ルールを設定することで、ドライバーの挙動を道路走行環境に応じてシミュレートできる方法を提案した。

本研究では交通事故対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), pp. 771~774, 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).