

セルオートマトンによる交通流シミュレーション

横浜国立大学 環境情報研究院 森下 信

1. はじめに

本稿ではセルオートマトンを用いた交通流のモデル化について紹介したい。交通流とはマクロな視点で車両の動き捉えた言葉であり、道路を行き交う車の集団を遠くから眺めると流れに見える。交通流の形成過程を考えれば、道路上を往来する車両は目的地を目指しながらも周囲の車両の動きに応じて車線変更などを行い、さらに交通信号に従うことで流れが形成される。この視点がミクロとマクロの結合であり、ミクロな視点だけでは流れは生まれない。このように考えると、注目する車両の近傍における車両との相互作用が主体的であるという意味では、交通流は Complex Systems の典型的な例として捉えることができる。

2. 従来の交通流の捉え方

過去の文献を調べると交通流シミュレータにはいくつかの分類方法があるようであるが、ここでは交通流のモデルをまず2通りに大別して考える。一つは交通流を流体としてモデル化する手法であり、もう一つは道路を通行する車両もしくは車両群の個々の動きを捉えて離散的な扱いをし、さらにそれに基づき全体の流れを形成させる手法である。

前者の流体モデルは1960年代の後半あたりから提案されたようで、グラフ理論におけるリンクとノードの概念を取り入れて、大規模な道路網の信号制御方式の評価を目的として開発された。猪瀬らの解説を元に概略をまとめると以下ようになる。交通網は基本的には道路と交差点から構成される。道路に関して距離的な要素は考慮されない。交通流は交差点に到着してから発進する際の時間的変化を信号1周期ごとに折線グラフなどで表現する。交差点の処理では各信号の周期を全て等しく一定とし、しかも定常的な交通流を想定することが多い。ある交差点を発進した波形を交差点と交差点を結ぶ道路(リンク)の走行所要時間だけずらして、かつ速度のばらつきにより生じる波形の拡散効果を考慮して次の交差点の到着波形とする。拡散効果に関しては様々なモデルが提案されている。また、流体モデルにはリンク上の交通密度の管理をする場合としない場合がある。このモデルの利点は大規模な交通流の概略を把握できることであるが、渋滞の状況、信号制御の効果、交差点での車の挙動などは表現できる訳ではない。

後者の離散モデルに関しては1970年代から基本的考え方が提案されている。これらの考え方は、本稿の主題であるセルオートマトンによるモデル化と驚くほどよく似ている。前述の猪瀬らに解説によれば、離散モデルはさらに物理的モデルと数学的モデルに分類される。物理的モデルでは、道路を車の長さに応じて等間隔で分割し、その分割した領域に0または1を配置する。1は車両を表現し、0は車両のいない道路の部分表現する。前方の車までの距離に応じて速度が決まる比較的単純な方法で交通流を表現できる手法である。車の長さを考慮する場合には、分割を細かくして数字の1を複数まとめることにより表現できる。これに対して数学的モデルとは、道路に流入する車に番号をつけ、番号に対応した配列に車の位置などの情報を書き込むものである。複雑な流れを模擬できるとともに融通性が高いとされている。個々の車両に付随する特性としては希望速度、車長、最大加速度などがあり、車両の進め方に対する規則として追従特性や追い越し判定基準、さらに道路に与えられる特性として車線数、最高速度標識、信号などをあげている。このようなモデル化は1960年代に複数の研究者により提案されていたようである。

最近では、この離散モデルに密度流を持ち込んだり、また一方で流体近似を一部に取り入れたりして複合化が行われている。その組み合わせは幾通りもあり、それぞれの研究者が独自の名称を付けて利用している。この解説で取り上げるセルオートマトンを用いたモデル化は、基本的には後者のモデル化に属すると考えている。

3. セルオートマトンによるモデル化

セルオートマトンによるモデル化の手順としては、解析領域を離散領域に分割してセルの大きさを決める。1セルが1台の車両に対応するとしてもよし、また複数のセルで1台の車を表現してもよい。各セルに対して状態量を定義し、状態量同士の局所近傍則を与える。セルオートマトンでは局所近傍則と状態遷移則を与えることになっているが、その分離が困難な場合もある。局所近傍則としては、前後左右の車両との関係から前進、停止、車線変更などを行うように規則を決めればよい。もちろん交通規則も含める必要がある。ここでは簡単のために1セル1台とした。

(1) 交差点のモデル化

交通流のモデル化について説明するために、図1に示すように約150m×150mの直線道路からなる交差点とその近傍を対象とする。ここではシミュレーション領域を21×21の441セルに分割しセルを設定した。各セルに与える状態量として、「車」、「道路」、「進入禁止道路」、「右折車進入禁止道路」、「停止線」さらには「道路でない領域」の6種類を定義した。この中で「車」以外の5つの状態量は時間の経過に依存せず位置により決定する。また、状態量が「車」である場合は「方向」を状態量として加え、さらには東西南北4方向から流入してくる直進、右折、左折をする車を流入時にあらかじめ与えるので計12種類の状態量を加えることになる。これらの状態量も時間に依存しない量である。

(2) シミュレーション結果

図2にシミュレーション結果の一例を示す。このアニメーションは、パーソナルコンピュータを用いることで実時間の数分の一の時間で実行することが可能である。さらにこれらの交差点ユニットを組み合わせて簡単な道路網を作り、交通信号の表示時間に関する最適化を行うこともできる。

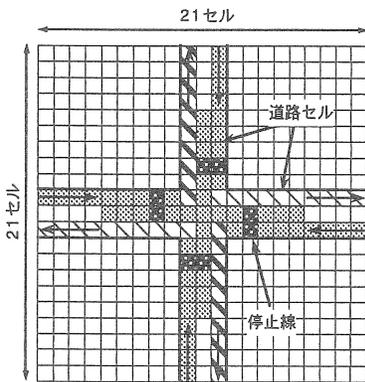


図1 シミュレーション領域

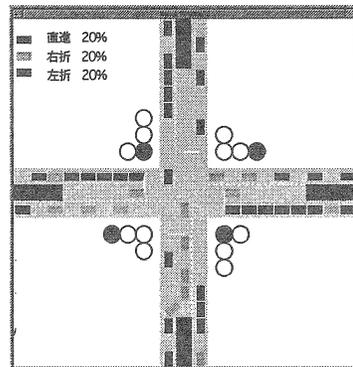


図2 シミュレーション結果の一例

4. 交通流シミュレータの実例

政府の規制緩和政策の一環として、大規模小売店舗立地法が現在の大規模小売店舗法に取って代わり、2000年6月より施行された。これにより大規模小売店舗出店時の規制が周辺小売店の経営保護から周辺生活環境の保全を目的としたものになった。新たに制定された大規模店舗立地法では交通渋滞やゴミ問題など、環境面から周辺住民の意見を踏まえて出店を規制している。大規模小売店の出店による周辺道路の交通環境の変化は著しく、その際の交通渋滞発生の要因として、出店場所、駐車場の位置、収容台数、入庫待ちスペースの有無等がある。また、大規模小売店舗立地法では周辺住民への事前説明も要求されている。以上の状況を鑑みて、セルオートマトンを用いて周辺道路を含めた駐車場の交通シミュレータを開発した。本シミュレータは、既に(株)船場の設計部門で実用に供されている。

(1) シミュレータの概要

本シミュレータのシステム構成を図3に示す。道路網作成プログラム、シミュレーションプログラム、およびアニメーションプログラムの3部分からなっている。これらのシステムは全てパーソナル

コンピュータ用に開発されており、アニメーションを含めて十分なシミュレーション速度を得ることができる。道路網作成プログラムでは取り扱いの容易なグラフィック・ユーザ・インターフェイスを備えており、駐車場、道路、信号等に相当するオブジェクトをツールバーより選択してマップエリア上のセルに割り当て、道路網のモデルを作成することができる。駐車場近隣の交差点を含む2 km四方の周辺道路のモデル化が可能であり、駐車スペースは最大5000台、平面駐車場も立体駐車場も含めることができる。マップ上で1セルは5×5mの正方形とし、道路においては1セルに車1台、駐車スペースは1セルあたり車2台分となっている。

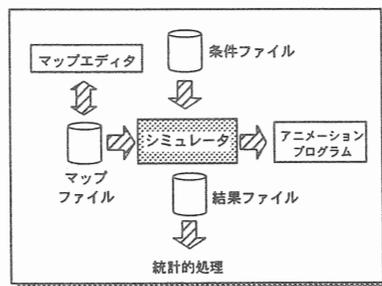


図3 システム構成

(2) 駐車場内のモデル化

状態量としては、車両、駐車スペース、場内道路、出入口、建物や緑地帯等の障害物等を定義できる。車両に関してはさらに速度、位置、方向、駐車時間、滞留時間をパラメータとして有している。駐車スペースに関しては駐車車の位置、駐車車の向き、駐車/空きの別、駐車車の優先順位等を、さらに道路に関しては道路幅、向き、制限速度、優先順位、誘導員の位置等をパラメータとして保存している。

1時間ステップは駐車場内に限定せず0.3秒と定めており、セル間を移動することに関連して速度が決定され、駐車場内では6、12km/hの2段階となっている。

駐車場内ではしばしば経験するように、運転者が何らかの基準で駐車スペースを選んでいるので、これを局所近傍則を用いてモデル化する必要がある。本シミュレータでは空いている駐車スペースに対していくつかのパラメータを計算して得点を算出し、高得点の順番で駐車するアルゴリズムを採用した。また、誘導員が分岐点に配置されている場合には誘導員が示す方向に進行し、いない場合には目的の駐車スペースに近い道路を選択するようにした。

(3) 周辺道路のモデル化

状態量として車両、空き、道路、進入禁止領域、交差点等を定義し、状態量が車両である場合、方向、速さ及び停止状態であるか否かを定義した。また、状態量が道路の場合は方向及び優先道路であるか否か、交差点の場合には信号交差点であるか否かを定義した。車両と空きの状態量は時間の経過に伴い変化するが、その他の状態量は時間の経過に関わらず変化しない。道路の状態量を与えるセルにおいては、セルを複数並列させることで車線数を増減することができる。また複数車線のある道路では、工事中などで車線規制が行われている場合を想定して、一部の車線を減らすことができる。

交差点は、現実問題として様々な形式があり非常に多岐にわたる。全ての場合に対応することは無理があるが、各交差点にはプロパティを柔軟に設定できるようになっており、信号のある場合とない場合を区別して扱う。信号のある交差点では、各信号色の時間間隔、優先方向、各方向への分岐率を設定できる。また、T字路や駐車場と周辺道路の交差点など信号のない場合は、優先方向や分岐率のみを設定する。さらに立体交差を設けることも可能である。

(4) 例題

アニメーションの一例を図4に示す。駐車場の周囲に道路網を設けてあり、駐車場は5階建ての立体駐車場となっている場合を想定している。地上部分では信号のある交差点や信号のない交差点、十字路やT字路、一方通行、片側1車線および2車線、さらには駐車場出入口に至る引き込み道路も設けてある。現実問題としては引き込み道路の有無やその配置、長さなどが周辺道路の交通環境に大きな影響を及ぼすとされる。この程度の地図ならば、熟練者でなくてもマウスを用いて比較的短時間に描くことができる。ただし、駐車場の設計には様々な経験が要求され、その意味では単なるゲームではなく、描画や各種の設定にはある程度の経験が必要である。図4に示すように、本例題では2階には駐車スペースがなく、4階を中心に車両が駐車しているようすがわかる。これは4階に売場に直通する通路が設置されていることを想定しているため、誘導員を配置して駐車を制御した結果である。

5. おわりに

本稿では交通流のひとつのモデルを紹介したが、さて、これで何がわかるのだろうか。現在のコンピュータはその高い処理能力が故に、我々の目の前にあたかも現実に行っているような画像を提供してくれる。でも、いくら詳細なシミュレーションを行っても、それは仮想空間上のことであり現実問題ではない。交差点内の車が辿る道筋を計算することは可能であるが、それはひとつの可能性を表現しているだけのことで、毎日繰り返す訳ではない。本来交通流とは平均的には再現性があるが、細部は再現性が伴わない現象である。モデル化の適否も結局は統計量で比較することになる。車の流入量を変化させて道路の混み具合を検証するなど様々な条件下で繰り返しシミュレーションを行い、結果は統計的に解釈するというのが正統な使い方であろう。

文 献

- (1) 猪瀬博, 浜田喬: 道路交通管制, 産業図書 (1972)
- (2) Shumate, R.P., Dirksen, J.R.: A Simulation System for Study of Traffic Flow Behavior, Highway Res. Rec., 72 (1963) 19-32
- (3) 桑原雅夫: 広域ネットワーク交通流シミュレーション, 52, 1 (1998) 28-34.
- (4) 堀口良太: 交通運用策評価のための街路網交通シミュレーションモデルの開発, 東京大学学位論文 (1996).
- (5) 木戸伴雄・池之上慶一郎・斉藤威: 街路網における経路探索・交通配分モデル (DYTAM-I), 科学警察研究所報告交通編, Vol.19, No.1, 1978.
- (6) 木下正生, 前田誠一, 寺田幸博: 日立造船技報, 56, 2 (1995) 38-42.
- (7) 山本直史, 森下信: 日本機械学会論文集, 65-637, (1999) 3553-3558.
- (8) 通商産業省: 大規模小売店舗立地法の施行のための基礎調査結果の概要, 1998.
- (9) Resnick, M.: Turtles, Termites and Traffic Jams, MIT Press, (1994) 68-74.
- (10) 森下信, 西山裕二, 栗山浩一, 大釜みち代: 日本計算工学会論文集, No.20000018, (2000)

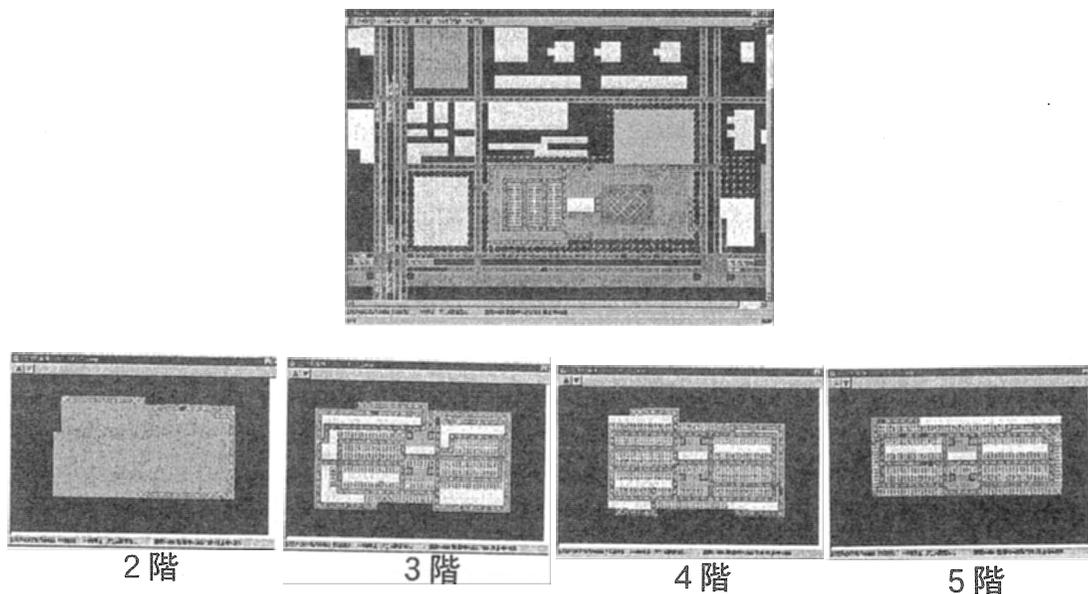


図4 シミュレーション結果の一例