

セルオートマトンを用いた渋滞緩和シミュレーション

Simulation of Traffic Jam Reduction with Cellular Automaton

発表者：有木 一司

指導教員：坪井 一洋

1. はじめに

日本での自動車の所有率は高度経済成長期以降爆発的に増え、現在は人々の生活やビジネスの場において自動車は必要不可欠なものになっている。その一方で、交通量の増加による走行速度の低下「渋滞」が社会問題となっており、国道交通省道路局によれば渋滞によって日本全国で生じている経済的損失は年間約 12 兆円にも上るといわれている[1]。

このような問題を背景に、道路上での車の流れ「交通流」の性質を解析する研究や、その結果をもとに渋滞の緩和方法、解消方法を模索する研究が近年数多く行われている。

渋滞を抜本的に解消するには道路の改良や増設が必要になるが、コストや地理的な問題から困難な場合も多い。この点を踏まえた上での渋滞緩和方法としては、渋滞している本線の周辺に存在するあまり使われていない道路、いわゆる「裏道」へいくらか車を分配するというものがある。しかしこの方法は、裏道に車が集中すると逆に裏道に渋滞を発生させてしまうという問題を抱えている。

本研究では仮想道路網を作成し、交通密度、信号時間、裏道への分岐率を変化させたシミュレーションを行い、どのような状況でどの程度の車が裏道を利用すれば渋滞緩和に有効かを検討する。

2. 交通流のモデル化

2.1 交通流モデルの比較

交通流のシミュレーションを行うためには、まず交通流をモデル化する必要がある。交通流モデルとして成果を上げているものは既にいくつか存在しており、「流体モデル」、「追従モデル」、「セルオートマトンモデル」の3つが特に有名である。

流体モデルは、個々の車の動きや厳密な台数ではなく、道路上で車の密度がどのように移り変わるかに注目したモデルである。計算量が少ないため数 10 キロメートル四方に及ぶ広い道路網を対象とした巨視的なシミュレーションに用いられることが多い。

追従モデルは、個々の車が前方の車から受ける刺激をもとに加減速する様子を表すことで、交通流の振る舞いを捉えるモデルである。個々の車の詳細な動きを再現でき、数キロメートル四方程度の狭い道路網での微視的なシミュレーションに適している。

セルオートマトンモデルは、1次元セルオートマトンと呼ばれる計算モデルを用いて交通流を再現したモデルであり、個々の車の動きを表現しているという点は追従モデルと同じである。しかし、時間や車

の速度などを離散化して表現するので、追従モデルよりも計算量が少ないという利点がある。

本研究は交差点での車の経路選択に注目して渋滞緩和方法を検討するので、個々の車の動きを表現できる交通流モデルを用いる必要がある。さらに、将来的には広域の道路網を対象としたシミュレーションになる可能性も高いので、計算量の少ないモデルが適している。これらの条件から、本研究では交通流モデルとしてセルオートマトンモデルを用いる。

2.2 セルオートマトンモデル

セルオートマトン(Cellular Automaton, CA)とは、格子状に並んだ均一なセルと単純な時間更新規則からなる、離散的計算モデルのことである。各セルは0もしくは1のどちらかの値しか取らないので、非常に計算量の少ないモデルである。

しかし単純なモデルでありながら、交通流や各種自然現象などの多数の因子によって全体の振る舞いや性質が決定される複雑な現象のシミュレーションにおいて、モデルとして必要な性質を抜き出して再現できるという長所がある[2]。

交通流シミュレーションにおいては、1次元セルオートマトン、すなわち線状に並んだセルを、「ルール184」と呼ばれる規則によって時間更新するもの、あるいはそれを発展させたものがセルオートマトンモデルと呼ばれ、交通流のモデルとして使用されている[2]。このモデルでは線状に並んだセルが道路を、セルの値はそのセルに車が存在しているかどうかを表している。

2.3 セルオートマトンモデルの更新規則

1次元セルオートマトンにおいて、あるセルの更新後の値は、そのセルの値と隣接する2つのセルの値によって決定される。ある時間ステップ t における j 番目のセルの値を U_j^t とし、2つの数値のうち最小値を $\min(x, y)$ と表すと、ルール 184 によるセルの更新は次式で表される。

$$U_j^{t+1} = U_j^t + \min(U_{j-1}^t, 1 - U_j^t) - \min(U_j^t, 1 - U_{j+1}^t)$$

本研究ではこのモデルに、交差点での分岐と合流、信号に従った停止、先頭のセルへの車の流入と末尾のセルからの車の流出といった、ルール 184 では表せない交通流の振る舞いを再現するため、新たな更新規則を追加した[3]。

3. 実験

3.1 概要

裏道を利用した渋滞緩和方法の有用性を検討するため、図1に示す仮想道路網をセルオートマトンモデルによって作成し、交通流シミュレーションを行った。スタート地点から期待値 2.5 ステップのポアソン到着に従って車が発進し、本線か裏道のどちらかを通りゴール地点へ向かう。交差点①では 2 方向への分岐、交差点②では 2 方向からの合流ができるものとする。本線はセル 80 個で構成され、スタート地点から 21 番目のセルが交差点①、63 番目のセルが交差点②にあたり、42 番目のセルに押しボタン式信号機が存在する。また、裏道を通るとセル 20 個分の遠回りになる。

車は本線を通る方が走行距離は短いが、本線上の信号機が交通流を妨げているため、本線に車が集中すると大きな渋滞が発生してしまう場合がある。そこで多少遠回りであっても、裏道を使って車を分散させることができれば、全体的にはスムーズな交通流になり、渋滞が緩和されることが予想できる。

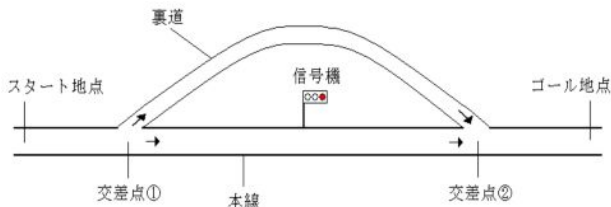


図1 シミュレーション対象道路網

このモデルに対し、赤信号が続く時間 T [ステップ]、裏道へ車が分岐する確率 P という 2 つのパラメータを操作して交通流の変化を調べる。まず赤信号と裏道の利用が交通流に与える影響を確認し、その後交通流が最もスムーズになる P の値を探索する。このとき、青信号が続く時間は 60 ステップに固定し、黄信号は省略する。また、1 回のシミュレーションは 1000 ステップで終了するが、平均を取るために同条件でのシミュレーションを 10000 回行う。

交通流の変化を確認するための指標としては、個々の車の平均旅行時間(ゴール地点に到達するまでに要したステップ数の平均値)を用いる。車が一度も停止せず本線を通った場合の旅行時間は 80 ステップ、裏道を通った場合は 100 ステップである。

3.2 信号機と裏道が交通流に与える影響

$P=0.0$ と $P=0.2$ の 2 通りの場合について、 T を 0 ステップから 60 ステップまで、5 ステップ刻みで変化させた結果を図 2 に示す。

T と平均旅行時間の関係に注目すると、 T が増加するに従って平均旅行時間も増加していることが確認できる。また、 $P=0.0$ の場合と $P=0.2$ の場合を比較すると、 T が少ないうちは車を裏道に分岐させない方が平均旅行時間は短い、 $T=30$ 付近を超えると逆に裏道に分岐させた方が平均旅行時間は短くなるという結果

が見て取れる。このことから、 T が一定以上の大きさならば、裏道を利用した渋滞緩和方法が有効であるといえる。

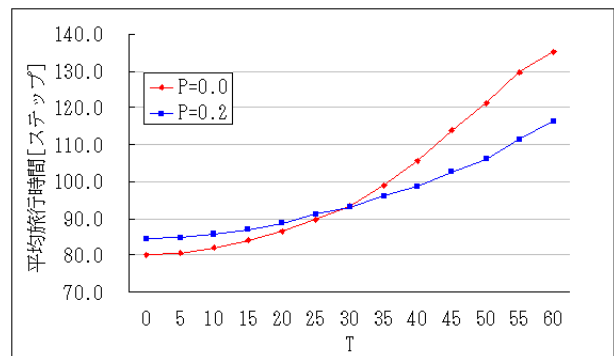


図2 信号時間による平均旅行時間の変化

3.3 裏道への最適分岐率

$T=35$ ステップに固定し、 P を 0.0 から 0.01 刻みで変化させた結果を図 3 に示す。多少のばらつきがあるものの、 $P=0.30$ のときに平均旅行時間が最小になることが確認できる。この結果は、本研究で作成したモデルに近い条件の道路網において、渋滞緩和方法を考える際の参考になるとと思われる。

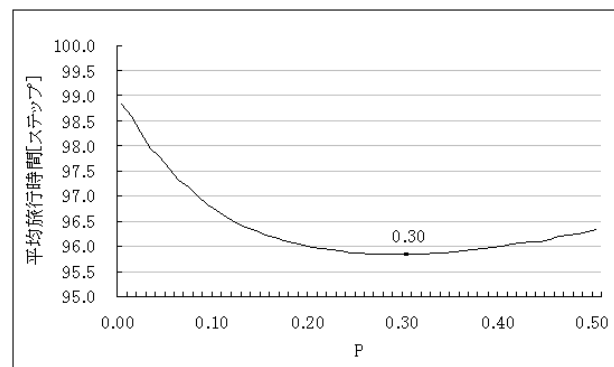


図3 裏道への分岐率による平均旅行時間の変化

4. まとめと今後の課題

新しい道路を導入することなく渋滞を緩和する方法を調べるために、セルオートマトンによる交通流シミュレーションを行った。単路部ではルール 184 を用いるが、交差点での分岐や合流、信号機に従った停止を表すために必要なルールを追加した。それにより信号機や裏道の利用が交通流に与える影響と、特定の条件下での最適な分岐率を求めることができた。

今後の課題としては、交通密度、赤信号時間、裏道への分岐率という 3 つのパラメータの関係性を明らかにし、最適分岐率を一般化することが挙げられる。

参考文献

- [1] 酒井 聡士 *et al.*: 日本応用数学会論文誌, Vol.16, No.4, pp.371-384, (2006)
- [2] 西成活裕: 応用数理, VOL.12, NO.2, JUNE, (2002)
- [3] 有木 一司: 茨城大学工学部知能システム工学科平成 21 年度卒業研究中間発表会レジュメ集 (2009)