

セルオートマトンによる高速道路開通の渋滞緩和の解析

謝 孟 春[†] 奥村 喜臣[†]

自動車の台数は年々増加し、通勤時の主要道路や、長期休暇期間中の有名観光地への道路では、渋滞は避けられない問題として浮かび上がってきた。その改善策を考慮する手段として、交通シミュレーションが挙げられる。本研究では、セルオートマトンを用いて交通流シミュレータを構築し、“御坊IC”周辺の交通流をシミュレーションする。セルオートマトンはそれぞれのセルが局所近傍則に従い相互に影響を及ぼしあうので、全体として複雑に振舞う体系である。ここでは、自動車は視界距離内における前方の自動車を認識し、安全距離を保ちながら、セル領域上の前方へ移動する。対象領域は阪和道、国道42号線と、その両者をつなぐ道路を対象とする。セルオートマトンによるシミュレーションで得られたデータと実際のデータを比較し、高速道路の開通が一般道路の渋滞緩和への影響を分析する。

Analysis of Road Traffic with Expressway Opening Using Cellular Automata

Mengchun XIE and Yoshitomi OKUMURA

With the continuous increasing of vehicles, traffic congestion is a more and more serious problem to deal with. Traffic simulation is tool for traffic analysis and is helpful to find ways for easing traffic jams. The object of this research is to create a Traffic Simulator using cellular automata and to simulate traffic flow around “Gobo Interchange”. In CA, each cell examines the state of neighboring cells, with a simple rule then to change the state of a cell depending on the state of neighboring cells. On the whole, however, very complicated behavior is exhibited because each cell mutually influences the neighboring cells. The model area, we have taken Hanwa expressway, National highway 42 and the roadway that connect them. In the system is loaded a function of “Interchange” with counters to record the number of vehicles. The analysis shows the approximative agreement of the simulated data with the actual data, confirming the effectiveness of the simulator.

1. はじめに

現代の日本では、家族で外出が容易にできる自動車の利便性が広く認められ、利用者は増え続けて自動車の台数も年々増加している。それにあわせて道路整備が進み、国内のあらゆる場所へ自動車で行くことができるようになった。しかし、ラッシュアワーや週末休暇等で急激に通行する自動車数が増えた場合には、道路の車線数の不足や、迂回路が存在しないなどの理由で、通行ルートが制限され、交通が集中した道路では渋滞が避けられない状態となっている。

その渋滞の実態を解明し、渋滞緩和策を提案するために、さまざまな方法が用いられる。交通工学において、実際の系を解析する際、数学的处理が可能であれば極めて有効であるが、ごく簡単な場合を除いて、数学的手法を用いるには系が複雑すぎる。それで、交通シミュレーションを用いなければならないことが多くなる¹⁾。交通シミュレーションでは、静的な交通配分モデルでは表現できなかった渋滞現象を動的な表現ができることで有効性が認められている。現在の交通シミュレーションは、広域ネットワークシミュレーション、交通流ミクロシミュレーション、セルオートマトンシミュレーションなどの方法がある^{2)~6)}。交通シミュレーションには、確率的に変動する不確定な要素が含まれているため、大きく異なる結果が出る可能性があるが、繰り返しシ

[†] 和歌山工業高等専門学校電気情報工学科
Department of Electrical and Computer Engineering,
Wakayama National College of Technology

ミュレーションを実行することで結果をある程度収束させることができる。現在、街中の交通流シミュレーションや、高速道路の交通流シミュレーションなどのそれぞれの対象とするシミュレータは多数存在するが、高速道路と一般道路を複合する渋滞解析シミュレーションはまだ少ない。

和歌山県の白浜は海水浴や温泉が有名で、週末休暇や夏季休暇になると多くの観光客が訪れる。和歌山県下国道42号線は元来渋滞の多発する道路であり、その渋滞を解消するために近年、高速道路の建設が進められている。平成15年12月に“御坊～みなべ”間が開通し、現在もそれ以後の区間が建設されている。阪和道の御坊ICからみなべICまで開通したことによって、御坊IC付近および国道42号線の交通量の減少が見られ、渋滞が緩和された⁷⁾。

本研究では、この高速道路開通による交通渋滞の解析をするために、セルオートマトンを用いた交通シミュレータを構築し、御坊IC周辺の交通流をシミュレーションする。シミュレーションで得たデータと実測データを比較し、交通流の変化も検証する。

2. CA による交通シミュレーションの構成

2.1 セルオートマトン

セルオートマトン法は、対象とするものをセルという区分領域に分割し、有限な離散的な状態量を各セル上に定義する。その状態量を近傍のセルとの相互作用のみを考慮することで、離散時間ステップごとに状態遷移規則に従い推移させ、全体としての現象を表現する手法である^{4),5)}。

CA の特徴として、セルの状態をその内部状態と外部からの入力に依存して、内部状態を変化せて、出力するという単純なプロセスで構成されているにもかかわらず、それぞれのセルが局所近傍則に従い相互に影響を及ぼしあうので、全体の動きが非常に複雑になることである。CA は、従来の微分方程式を代替しているだけではなく、自然界の不規則性、複雑性をコンピュータ上で表現することができる。

セルオートマトンモデルを交通シミュレーションに用いる場合、道路は連続するセルの集まりとして定義される。そして、各セルの状態量として、そのセルに車両が存在するかどうかをとる⁶⁾。

2.2 シミュレーションの構成

2.2.1 道路領域の表現

道路領域を 2 次元セルで表現する。つまり、道路はいくつかの正方形セルの並びとして表現され

る。一つのセルの大きさは $3\text{m} \times 3\text{m}$ である。シミュレータでは、車両の大きさを無視して、1 セルによって車両 1 台を表現している。

2.2.2 速度の表現

速度の表現は実数を用いる。すなわち、車両がある時点から次への移動速度は 1 タイムステップあたりの進行度 V_i で表す。 V_i は 1 セルあたりの進み度合で、0~1 の実数である。特に、 $V_i=0$ は車両が停止となる。表現可能な速度に対応できるように、10 ステップを 1 秒にする。例えば、車両の速度が 60km/h の場合、秒速は 16.6m/s となり、その時の進行度 V_i は約 0.56 である。

各々の車両が移動カウンタ V_c を持つ。 V_c は V_i を加算するものである。 $V_c \geq 1$ のとき、 $V_c \leftarrow V_c - 1$ にして、車両が 1 セル前進する。 $V_c < 1$ のとき、 $V_c \leftarrow V_c + V_i$ にする。その 1 例を図 1 に示す。

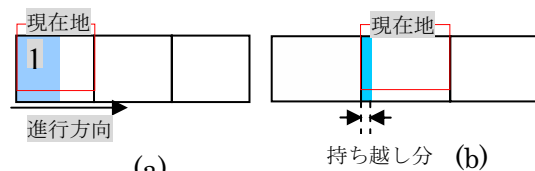


図1 移動カウンタと速度

図1には時速 60km で進行中の車両を考える。ステップ1(図1(a))では、車両がセル1にあり、 $V_c=0.56$ である。ステップ2では $V_c=0.56+0.56=1.12$ となり、車両をセル2に進み、 $V_c=V_c-1=0.12$ となる(図1(b))。ステップ3以降も同様の処理を行う。

2.2.3 車両の視界距離

各々の車両が自車両と前方車両との定められた視界距離により速度を変化する。ここでは、視界距離を各車両の自己速度の2秒間の距離とする。この距離以内に先行車両があると、速度を落とし、車頭距離を確保する。前方車両がない場合は速度を上げる。ここで、車頭距離とは、同一車線上を走行する前後2台の車のフロントバンパ間の距離である¹⁾。

視界距離の情報に従う車両の速度の変化を図2に示す。

2.2.4 高速道路料金所での進み方

料金所では設定したサービス時間(停止時間)エージェントの移動が中止される。料金所でのサービス時間は、区間別料金制では入口6秒、出口14秒が一般的に用いられるため、停止時間を14秒と

する。

本研究では、交通容量がおおよそ等価であるサービス時間を設定することで1本の道路で複数のゲート数を表現している。また、ETCは考慮しないものとする。ここで、交通容量とは一般的にいえば道路の交通をさばく能力であり、1時間当たりの通行可能台数[台/h]である¹⁾。

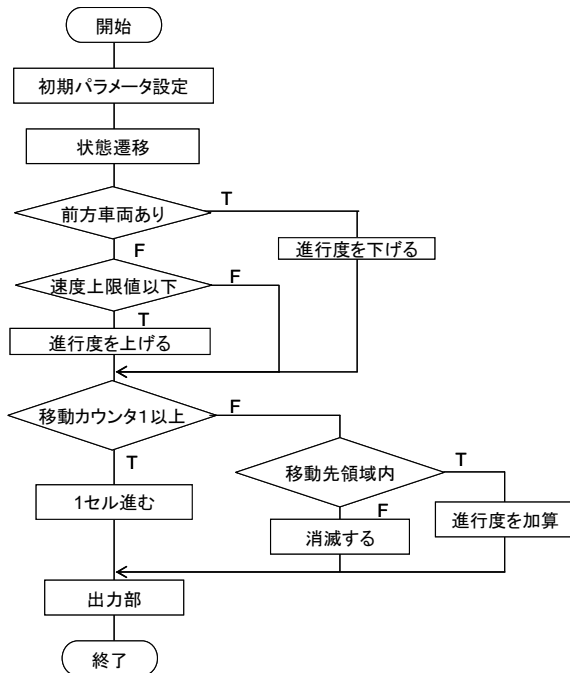


図2 車両速度の変化

3. 御坊市の通過交通特性の解析

本研究では、阪和道開通に伴う御坊市の通過交通特性を分析するために、阪和自動車道、御坊ICと国道42号線を結ぶ道路、国道42号線、の領域を解析対象とする(図3)。



図3 解析対象領域

この対象地域のセル表現として、対象領域を一般道路部、結合部、高速道路部に簡略化する(図4)。車両は左端から右端に向かって移動する。しかし、

高速道路開通前において網掛け部は通行不可とする。このようなセル化表現方法は高速道路、一般道路を区別させ、交通流の分散と合流を表現することができると考えられる。

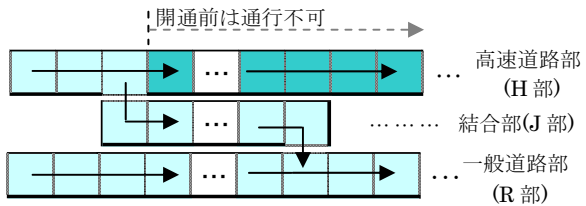


図4 対象領域のセル化

3.1 カウンタの配置

実測データと比較を行うため、図5に示すように、御坊ICの附近の「野口」、国道42号線御坊IC以前の「湯川」と、国道42号線御坊IC以後の時点に相当するところ、カウンタを配置する。

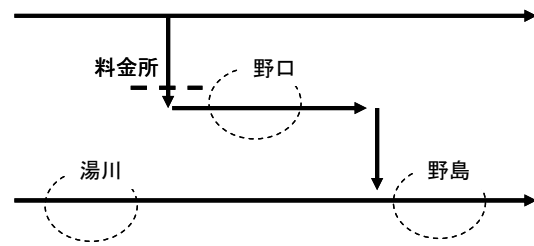


図5 カウンタの設置場所

3.2 状態遷移

状態遷移の処理の流れを図6に示す。

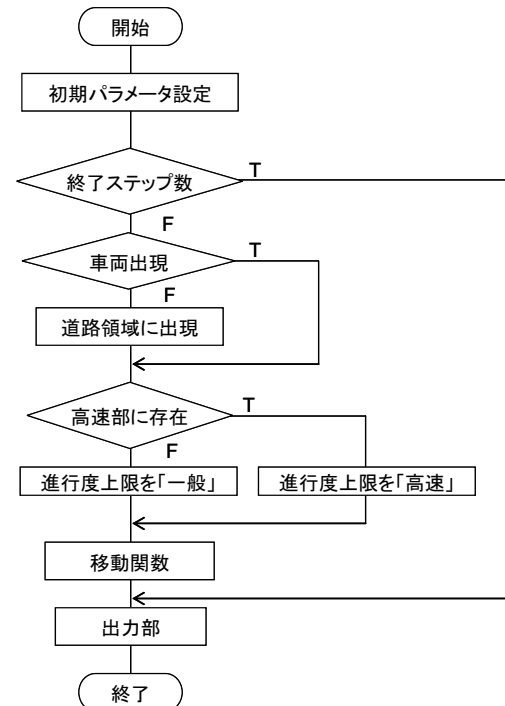


図6 状態遷移の流れ

3.3 シミュレーションの結果

阪和道みなべ IC 開通前の実測データを参考し、シミュレータのパラメータ設定をする。開通前では、高速道路部に相当するセルへの進行ができなく、料金所の交通容量は手渡しの 3 ゲート相当とする。3 ゲートは御坊 IC の最大ゲート数である。なお、高速道路から一般道路への合流する交通量は開通前の実測データに基づいて設定する。

開通後は、高速道路部のセルへの進行ができ、料金所のゲート数を一つ減少する。また、平成 13 年から御坊 IC で ETC が利用可能になる、さらにゲート数を減らし、1 ゲートとする⁷⁾。

その設定の下で、高速道路の開通前と開通後の対象領域の 3 箇所における実測データとシミュレーションの結果を表 1 に示す。表の値はそれぞれの地点での平日・休日の車両通過台数である。

表 1 開通前後の車両通過台数

		湯川		野口		野島	
		平日	休日	平日	休日	平日	休日
開通前	実験	1566	1949	1437	1793	2933	3720
	実測	1446	1734	1647	2078	1967	2541
開通後	実験	1487	1653	645	695	2125	2341
	実測	1911	1953	718	711	1110	1027

表 1 から分かるようにシミュレーションは実測データに近いデータが得られた。また、シミュレータでは車両の出現率と高速道路から一般道路への合流する交通量を確率で決めるため、シミュレーションの結果は 10 回実行の平均値である。

さらに、御坊 IC 以降の国道 42 号線の「野島」に対して、一定時間ごとに道路領域上に存在する車両台数をカウンタし、通過車両の車頭距離を算出し、交通流変化をより詳しく検証する。

「野島」の通過台数、車頭距離を図 7 に示している。この図では、横軸はシミュレーション上での経過時間[分]を示し、左 Y 軸は通過台数[台]、右 Y 軸は車頭距離[セル]を示している。棒グラフは通過台数、折れ線グラフは車頭距離である。

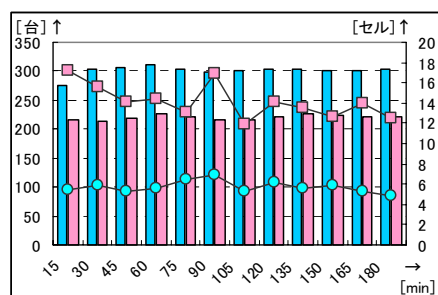


図 7 経過時間に対する通過台数と車頭距離

開通前の通過台数は 270～310 台の範囲に対して、開通後で、200～220 台となった。すなわち、通過台数は開通前の 70% 前後となり、実測データの変化率とほぼ一致した。また、開通前の車頭距離は 6 セルに対して、開通後では 14～16 セルとなった。すなわち、車頭距離は約 2 倍確保されるようになった。これらのことから、開通前は御坊市内の 42 号線を利用し南進する車両が半数近く占め、通過が多かったが、開通後ではその交通が大幅に減少し、その地点のみを通過する車両の割合が多くなった。高速道路の開通が一般道路に影響を与えているのは明らかである。

4. おわりに

本研究は、セルオートマトンを用いた交通シミュレータの構築を行い、高速道路開通がもたらす交通流変化をシミュレーションした。高速道路開通によって、自動車の流れが分散し、渋滞が緩和することをシミュレーションで表現できた。今後の課題として、個々のパラメータ設定の最適化と、ETC 普及に伴う降り口での交通流変化をどのように実現するかなどが挙げられる。

参考文献

- [1] 交通工学研究会, : 交通工学ハンドブック 2001
- [2] H.Kozuka, Y. Matsui, H.Kanoh: Traffic Flow Simulation Using Cell Automaton Under Non-equilibrium Environment, SMC' 2001, pp.1341-1345(2001)
- [3] 杉山, 交通流の物理, ながれ, Vol. 22, pp. 95-108(2003)
- [4] 加藤, 光成, 築山: 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 (1999)
- [5] 森下, セルオートマトン—複雑な具象化—, 養賢堂発行 (2003)
- [6] 玉城, 安江, 北: セル・オートマトンによる自動車専用道路の交通シミュレーション, 情報処理学会論文誌 (数理モデル化と応用), Vol. 46, pp30-40(2005)
- [7] T. ITO: Travel Behavioral Analysis of a Local Area in Japan - A Case Study of the Kii Peninsula, The 6th EASTS Conference, Bangkok-Thailand, (2005)