

# 交通渋滞解消に向けた道路交通シミュレーションツールの開発

○田中咲哉 佐々木晃 (法政大学)

## Development of a Road Traffic Simulation Tool to Relieve Traffic Jam

\* S. Tanaka and A. Sasaki (Hosei University)

**概要一** 交通渋滞の問題を解決する際に、シミュレーションを用いることで原因の特定と対処を効率化できる。本研究では、数多くの場所で発生する交通渋滞の軽減を効果的に実現させることを目標に、道路交通シミュレーションツールを開発した。ユーザーは、主にマウスを用いた簡単な操作で道路と交通規制を設計する。車両は、車線や交通規制、他の車両を認識し適切に走行する。道路構造や交通量の違いによる渋滞の発生度合いを比較する実験を行い、シミュレーションの精度を評価する。

**キーワード:** 交通渋滞, マルチエージェントシミュレーション, 交通シミュレーション

### 1 はじめに

我々が関わる社会生活の中にある問題の1つとして、道路交通渋滞がある。渋滞は、人々の移動や物流に時間的損失をもたらす。これによって社会活動や経済活動などに影響を及ぼす。この交通渋滞が至る所で深刻化しているのが現状である。

このような交通渋滞に対し、交通の円滑化を期待できる対処法はいくつか存在する。例えば、新たな道路を建設する、車線を増やす、信号の周期を変更する、ドライバーに適切な速度の維持を促す、などである。どの対処法が最も効果的で、コストパフォーマンスがよいかは、その道路および地域の特性によって異なるため、十分かつ適切な検証を行う必要がある。

検証を行う際に、すべての対処法を実際に公道上で実験することは現実的に不可能である。適切なデータを得るための利用者や建設資源、その費用を確保できないからである。対して、これらの対処法を採用した場合の交通流の様子を模倣したシミュレーションによって検証を試みる方法が効果的であると考えられる。

交通渋滞は多くの場所で出現し、その原因は道路構造や車両同士の関係などによって様々である。シミュレーションを用いてこの問題を解決する場合、それぞれの場所において正確に再現されたシミュレーションを提供できる汎用的なツールを活用することで効率化することができるといえる。

本研究の目的は、数多くの場所で出現している交通渋滞の軽減を効果的に実現させることである。交通渋滞の主な原因は、道路構造とドライバーの運転のしかたにあることから、道路施設の管理者やドライバーが利用することを想定したツールを開発することで上記に貢献する。

### 2 関連研究と本研究の位置付け

これまでに、道路交通シミュレーションに関する研究は数多くされている。

ドメイン特化言語Athos<sup>1)</sup>は、ネットワークベースの交通シミュレーションを宣言的に作成できる。これはマルチエージェントシステムのプログラムコードの複雑さを解消させ、非プログラマーの負担を軽減させている。

セル・オートマトン法を用いた自動車交通シミュレーション<sup>2)</sup>では、道路を連続するセルの集まりとして定義し、時間ステップごとに各セルの車両の存在有無

を変化させている。

ミクロ交通シミュレーションモデルtiss-NET<sup>3)</sup>は、車両1台ずつの挙動をそれぞれモデル化することにより、詳細な交通状況の再現が行える。信号制御、右折レーンの長さ、駐車場出入口の場所などの検討ができ、市街地道路でのシミュレーションに特化している。

広域交通流シミュレータNETSTREAM<sup>4)</sup>は、普通車、大型車などの車種の違いに応じた挙動を表現でき、マクロ特性の再現による広域道路網でのシミュレーションが可能である。また、3Dによるアニメーション機能により、再現される交通状況をユーザーが容易に確認することができる。

本研究で開発するシミュレーションツール(3で述べる)では、道路構造作成の汎用性を向上させるため、Athosモデルの概念の一部を採用している。より細かい単位の位置や時間ステップの定義により、シミュレーションの高精度化を図る。また、市街地道路の時差式信号や高速道路のランプなど、それぞれの場所特有の要素も再現できるようにする。さらに、ユーザーの視認性向上のため車両1台ずつの位置などを鳥瞰的に表示するアニメーションを採用する。すなわち、本研究では主に、シミュレーションの可視化及び現実性の向上、様々な道路構造への汎用化に重きを置いている。

### 3 シミュレーションツールの開発

上記の目標を満たすため、シミュレーションツールの開発を行う。作成されるモデルの現実性と、ツールによるシミュレーション作成の効率性を確認する。

このツールは、ある場所における交通流を俯瞰したアニメーションを表示させる機能をもつ。道路や車両には、様々な道路構造間の区別に必要なパラメータを割り当てている。ユーザーは特にコーディングを行う必要がない。プログラミングをしない人にとっても扱いやすい操作(3.2で述べる)で、様々な構造を持つ道路網を配置し、その上で起こる交通流のアニメーションを直感的に作成し、閲覧することができる。ツールの利用者は、自動車のドライバーや道路の管理を行う道路管理者(国道事務所、都道府県や市町村等の土木事務所)を想定している。

現実性を得るため、開発の際に主に2つの要素について重要視した。1つは、適切な物理計算である。もう1つは、1車両が道路や交差点、他車などを認識し、その情報に則って現実に近い動作となるようエージェントの挙動を設計することである。また、様々な道路構

造への汎用性や、ツールを利用することの効率性を得るために、ユーザーにとって扱いやすい UI を考慮し、設計した。このツールの実装には、汎用プログラミング言語 Java の GUI ライブラリである JavaFX を用いた。

この節では、本ツールの特色や、構成要素およびその詳細、ユーザーの操作方法などについて述べる。

### 3.1 道路構造

道路構造は基本的に、1 つまたは複数の車線をもつ直線道路(以下、道路または区間と呼称する)が端点同士で連結されたものとして構成される。車線数が 1 の場合は、始点から終点に向かう一方通行の道路(Fig. 1)となる。車線数が 2 以上の場合、中央線の位置を設定できる。例えば、中央線の位置を 1 とした場合、片側 1 車線、対面通行の道路(Fig. 2)、2 とした場合、2 車線ともに始点から終点に向かう一方通行の道路(Fig. 3)となる。道路ごとに、異なる制限速度を設定することができる。



Fig. 1: 1 車線の一方通行道路(左から右の方向).



Fig. 2: 片側 1 車線の対面通行道路.



Fig. 3: 2 車線の一方通行道路(左から右の方向).

このような直線道路を端点で繋ぎ合わせ、再現したい道路構造を作成する。直線道路の端点同士が重なった部分は、曲がり角や交差点などとなる。車線ごとに、交差点を介して次に移ることのできる車線の設定や(以下、行先の設定と呼称する)、優先させる交通流の設定ができる。また、一時停止や信号の効果の設定も行える。片側 2 車線以上の道路では、通常車線変更を行うことができるが、設定によってはこれを禁止することもできる。

作成例を提示する。Fig. 4 は、一般幹線道路での 4 差路を模倣したものである。南北方向は 2 車線、制限速度 40km/h の道路、東西方向は 4, 5 車線で、制限速度 60km/h の道路を繋ぎ合わせている。行先の設定により、東西方向に左折、直進、右折の専用車線を設け、また右折する車両は対向車を優先させるようにする。車線ごとに信号の動きを適切に設定する。Fig. 5 は、高速道路での合流部を模倣したものである。ランプ部分は 1 車線、制限速度 40km/h の道路、本線部分は 2, 3 車線、制限速度 100km/h の道路を作成し、これらを繋ぎ合わせている。Fig. 5 中央部分の 3 車線のうち、一番上の車線が加速車線となるよう、行先の設定などを適切に行う。Fig. 4, 5 それぞれ一部の車線で車線変更を禁止している(黄の実線で表示される)。

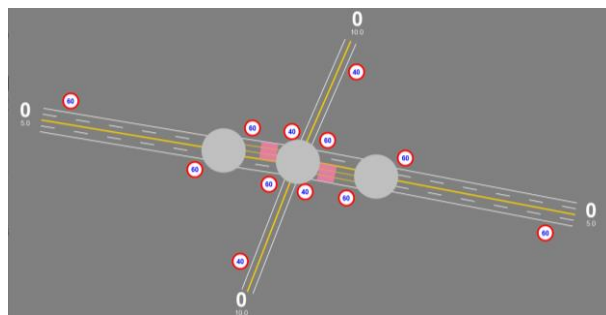


Fig. 4: 作成例(一般道路).

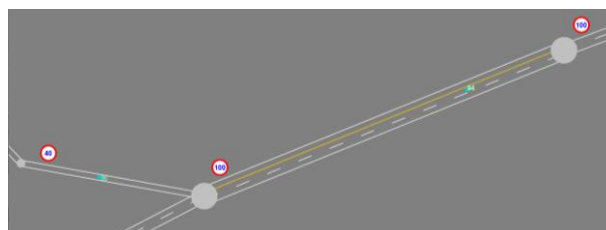


Fig. 5: 作成例(高速道路).

### 3.2 車両の挙動

車両は、普通車と大型車の 2 種類が存在する。普通車は、全長 3.5~4.5m, 最高速度 180km/h とし、大型車は全長 7.0~15.0m, 最高速度 80~100km/h としている。大型車は普通車より加速と減速がしづらいことから、車間距離を普通車よりも長く確保する。

車両は道路の端点のうち、他の端点と重なっていないものから出現する(以下、この点を出現点と呼称する)。出現した車両は前車との車間距離を認識して速度を調整しつつ、決められた制限速度に従って走行する。ただし、車両によって速度や加速度にばらつきがある。これはドライバーの運転の仕方の違いや、車両の性能差を考慮している。車両が出現しようとする端点付近に前車がいる場合は、当該端点での待機車両とみなし、各端点に待機車両の数が表示される。待機車両数が多い場合は、区間内に車両が入場できず、滞留が起こっている状況とみなす。

走行中の区間に同一方向の車線が複数ある場合は、車両は車線変更を行うことがある。車線変更を行う主な条件は、車線同士の境界線が白の破線になっていること(反対に、黄の実線になっている場合は車線変更できない)、前車よりも速度が速く、右車線が空いていること(この場合は追越として右に車線変更する)、前方の状況に関わらず、左車線が空いていること(この場合は左に車線変更する)、である。

前車に接近していて、車線変更ができない場合は、減速する。前車が停止している場合は、適切な間隔を空けて停止する。交差点に差し掛かった車両は、行先の設定により進むことのできる車線の中から、ランダムに 1 つを選んで進む。その際、現在走行中の車線と行先の車線の角度差に応じて、適切な速度まで減速する。ただし、行先の車線の中で、交差点の直後の地点に停止している車両がいる場合や、一時停止、停止信号がある場合、また右折しようとして対向車がいる場合、その他優先すべき車両がいる場合は交差点で停止する。

前方に車両や停止信号等がない場合は、目標速度(制限速度の 90~120% で決定)に向けて加減速を行う。

なお、本ツールでは車両同士の衝突、事故等の考慮は行っていない。

### 3.3 道路構造作成時の操作

道路構造は、端点をもつ区間を生成し、それを繋ぎ合わせるとともに、区間や端点に対し詳細なプロパティを設定することで作成する。

はじめに、これから生成させる 1 本の道路の基本的なパラメータを設定する(Fig. 6)。ここで設定できるのは、車線数、中央線の位置、制限速度、道路両端それぞれの車両出現間隔である。なお、車両出現間隔は、特定のタイミングで車両が出現する確率を、乱数を用いて表現した数値であり、これが小さいほど車両が出現しやすくなる。例えば、車両出現間隔が 10 の場合、平均的に 10 秒に 1 度の間隔で車両が出現する。

これらの設定後、マウスのドラッグアンドドロップ機能でフィールド上に直線を引く。マウスの操作に応じて、直線道路が生成される。都度縮尺を変更できるため、任意の縮尺に応じて直線道路を引くことができる(Fig. 6)。



Fig. 6: 基本パラメータと縮尺の設定。

以上のパラメータの設定と直線道路を引く操作を繰り返す。2 区間が結びついた点はカーブや曲がり角のほか、車線数や制限速度が変化する境界点などとみなせる。3 区間以上が結びついた点は交差点とみなされる。また、1 辺ごとに設定したパラメータの情報が保存されている。

道路構造を任意に作成した後、交差点等(明るいグレー色の円形で表示)をマウスでクリックし、プロパティの画面を開く(Fig. 7)。ここでは、クリックした頂点(交差点等)と、それに繋がる区間に関する以下の詳細的な設定ができる。

- 行先の設定
- 右折などの際に優先させる交通流の設定
- 合流車線/本線の設定
- 黄線/白線の設定(黄線の場合は車線変更不可)
- 信号制御の設定

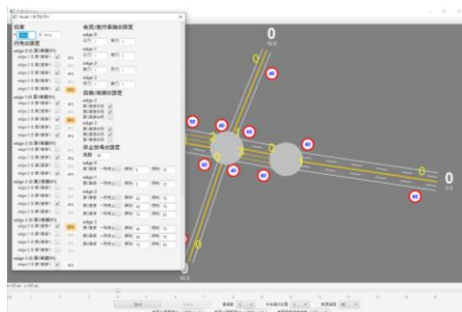


Fig. 7: プロパティの設定画面。

各頂点でこれらの設定を終えたら、道路構造の作成は完了である。作成したものを csv 形式のファイルで保存することができる。また、そのファイルを開くことで作成したものをすぐに呼び出すことができる。

### 3.4 シミュレーション実行時の操作

新しく道路構造を作成するか、読み込んだ状態で、Start ボタンをクリックすると、シミュレーションが開始される。シミュレーション開始時点では車両は存在しておらず、開始直後から設定された車両出現間隔に応じて車両が出現する。開始から 5 分のアニメーションは省略される。シミュレーション実行時には、縮尺を変更することに加え、マウスのドラッグ操作でフィールドを平行移動させることができる。これにより、一部の地点を拡大して閲覧することができる。

Pause ボタンをクリックすると、再生中のシミュレーションを一時的に停止することができる。Reset ボタンをクリックすると、シミュレーションの実行が中止され、道路構造の編集ができるようになる。

## 4 実験と評価

本ツールで作成できるシミュレーションが渋滞を正確に表現できるかを確認するため、いくつかの実験を行った。実験において、以下の渋滞指標を採用する。渋滞指標は、道路構造内で、シミュレーション開始から一定時間経過時の出現点の待機車両数と経路上を制限速度の 30% 以下で走行する車両の数を足し合わせた数値と定義する。これは、道路交通情報通信システム(VICS)の渋滞を判定する基準(制限速度によって渋滞と判定する交通流の速度は変動する)<sup>5)</sup>に基づき、本ツールでは制限速度に関わらず統一している。この渋滞指標をシミュレーション開始 5 分から 8 分までの 10 秒毎に記録し、全 19 回の記録の平均値を中間評価値とする。同じ道路構造でのシミュレーションを 3 回実行し、記録した 3 つの中間評価値の平均値を最終評価値とする。最終評価値から、渋滞の正確性を評価する。

### 4.1 一般道路、四差路交差点における実験

この実験では、Fig. 8 のような片側 1 車線、制限速度 40km/h の対面通行道路が交わる交差点で、一時停止や信号機の規制による渋滞の発生度合いを検証する。各区間の全長はそれぞれ 100m である。車両出現間隔は、西端、東端、南端、北端の順にそれぞれ、7.5, 10, 15, 15 である。走行中の車線から移ることのできる行先はランダムに等確率で決定される。

以下の 3 つの条件でそれぞれ検証を行う。

- 条件1. 南北方向に一時停止規制を設け、南北方向の車両は東西方向の車両を優先させる
- 条件2. 周期 60 秒の信号機を設け、東西方向は周期中 0~30 秒のみを通行可能に、南北方向は 35~55 秒のみを通行可能にする
- 条件3. 周期 60 秒の信号機を設け、東方向は 0~30 秒のみを通行可能に、西方向は 7~30 秒のみを通行可能に、南北方向は 35~55 秒のみを通行可能にする

全ての条件に対し、それぞれ適切な優先交通流の設定を行った。なお、通行可能な時間は青信号、それ以外の時間は黄信号、赤信号が適用されることとする。

条件 1 では、南北方向の車両が東西方向の交通流の切れ目を待つことにより、南北方向に大きな渋滞が生



じることを想定している。条件 2 では、信号による交通制御が条件 1 に起こる渋滞を軽減させることを想定している。条件 3 では、条件 2 の信号制御を変更し、東西方向で時差式信号を再現した。東方向から南方向に右折する車両が対向車を待たずに通行する時間が存在する。この影響による渋滞の軽減を想定している。

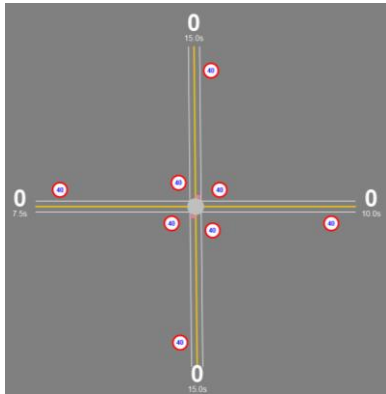


Fig. 8: 一般道路, 四差路交差点.

Table 1 は、各条件における渋滞指標から算出した中間評価値と最終評価値である(数値は四捨五入し、小数第一位まで表示する。

Table 1: 各条件における渋滞指標の評価値.

	条件 1	条件 2	条件 3
中間評価値 1	50.4	16.3	11.4
中間評価値 2	39.5	10.6	17.8
中間評価値 3	45.7	19.5	10.6
<b>最終評価値</b>	<b>45.2</b>	<b>15.4</b>	<b>13.3</b>

これより、条件 3, 2, 1 の順で渋滞が発生しにくくなっていることが確認できる。概ね先述の想定通りの結果となった。本実験により、本ツールで信号制御によって生じる現象を生成できていると言える。

#### 4.2 ファスナー合流の有無による実験

この実験では、Fig. 9 のような 2 車線一方通行、制限速度 100km/h の高速道路の本線と、1 車線一方通行、制限速度 40km/h のランプからなる道路構造において、ファスナー合流を行う場合と、行わない場合による渋滞の発生度合いを検証する。本線の全長は約 900m(始点から約 200m の地点で合流)、ランプの全長は約 110m である。1 車線の加速車線を 500m 設ける。車両出現間隔は、本線が 1.5、ランプが 5.0 である。



Fig. 9: 高速道路, 本線およびランプ.

ファスナー合流とは、高速道路などの本線に合流しようとする車両が、加速車線の途中で本線に入るのではなく、加速車線を終端まで走行してから本線に入るという渋滞軽減に効果的な走行法である<sup>9)</sup>。

以下の 2 つの条件でそれぞれ検証を行う。

条件 1. 全車が加速車線の始端から 0~80m の地点で本線に入る(ファスナー合流を行わない)

条件 2. 全車が加速車線の終点(始端から 500m)の地点で本線に入る(ファスナー合流を行う)

Table 2 は、各条件における渋滞指標から算出した中間評価値と最終評価値である(数値は四捨五入し、小数第一位まで表示する。

Table 2: 各条件における渋滞指標の評価値.

	条件 1	条件 2
中間評価値 1	15.9	5.2
中間評価値 2	30.6	1.5
中間評価値 3	31.1	4.6
<b>最終評価値</b>	<b>25.9</b>	<b>3.8</b>

これより、条件 2 の方が条件 1 よりも渋滞が発生しにくくなっていることが分かる。利用できる車線を有効に使い、交通流を分散させている。ファスナー合流を実践することで、全体の渋滞を軽減させることができるという点を本ツールで示すことができている。

## 5 議論と課題

このツールでは、1 つまたは複数の車線を持つ道路や、制限速度、一時停止、信号機などの交通規制を組み合わせることで、様々な道路構造を再現することができる。前述の例に加え、立体交差や、踏切、料金所、環状交差点などにも対応している。ユーザーは、このツールの操作方法を理解した上で、検証したい道路構造を作成しシミュレーションを実行することで、渋滞の発生具合を確認することができる。同じ地点を想定し、複数の道路構造を作成することで、渋滞の発生具合を比較することもできる。

このツールの実用に向け、車両の挙動に関するいくつかの課題点が挙げられる。

道路構造を作成する際に、カーブを表現するには、複数の直線道路を直列に、角度を変えて繋げることが最も近似的になる。しかし、これでは当該区間の全長に差異が出るため、曲線を引くことができる機能が望ましい。

それぞれの車両に対し、目的地や、その最短経路の情報は考慮されていない。走行中の車線から移ることのできる行先をランダムに等確率で決定し、交差点等を通過する度にこれを行っている。平面交差と立体交差を比較検証したい場合や、広いスケールの道路構造を再現した場合などで、シミュレーション結果に差異が出ると考えられる。また、このシミュレーションでは駐停車車両、緊急車両、歩行者や自転車、横断歩道、勾配や路面状況、天候などの影響を考慮していない。精度を高めるためには、これらの要素に対処することが必要である。

## 6 おわりに

この研究で開発したシミュレーションツールは、未だ改善の余地があるものの、様々な道路構造の交通流

をシミュレーションで効率的に再現することができる。これは、非プログラマーであるユーザーが扱いやすいものになっている。また、渋滞解消に繋がるメカニズムを視覚的に確認することができる。道路施設管理者は、慢性的な渋滞ポイントにおいて、候補となる渋滞対策のうち、最も効果的なものをこのツールの利用によって知ることができる。ドライバーの中で、このシミュレーションツールを知り、効果的な通行方法について知見、学習した人は、この通行方法を実践し、渋滞軽減に貢献することが期待される。知見したドライバーが多いほど、より効果的な滞留の減少に繋がる。これらの行動を推進させ、より大規模な渋滞解消が実現できれば、道路を利用する各人の時間的損失の減少のみならず、物流の効率化による経済的な効果や、停車時等のアイドリングの減少、燃費向上による環境的な効果も期待できる。

## 参考文献

- 1) B. Hoffmann, K. Chalmers, N. Urquhart, T. Farrenkopf, and M. Guckert: Towards Reducing Complexity of Multi-agent Simulations by Applying Model-Driven Techniques. In: Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018. Y. Demazeau et al. (Eds.): PAAMS 2018, LNAI 10978, 187/199 (2018)
- 2) 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, **46-SIG 10(TOM 12)**, (2005)
- 3) 株式会社ビッツファクトリー, 地区交通シミュレーションシステム「tiss-NET Cloud」, <https://tiss-net.com/>, (参照 2023-02-22)
- 4) 棚橋, 北岡, 馬場, 森, 寺田, 寺本: 広域交通流シミュレータ NETSTREAM, 豊田中央研究所 R&D レビュー, **37-2**, 47/53 (2002)
- 5) VICS, 渋滞情報, <https://www.vics.or.jp/know/service/index.html>, (参照 2023-01-29)
- 6) 西, 三木, 友枝, 西成: 織込部交通流の交互配置化の Simulation および Cluster 解析, 第 14 回交通流のシミュレーションシンポジウム論文集, 89/ 92 (2008)