

# 踏切道の交通渋滞問題における改善策のMASを用いた効果の検討

小峯玲奈\*1・浅本紀子\*2

Email: komine.reina@is.ocha.ac.jp

\*1: お茶の水女子大学大学院 人間文化創成科学研究科 理学専攻 情報科学コース

\*2: お茶の水女子大学 基幹研究院 自然科学系

◎Key Words

マルチエージェントシミュレーション・交通渋滞・GIS データ

## 1. はじめに

交通渋滞は様々な問題に対して影響を与えている。それは不快な気分になったり、苛立ったりする感情的な問題だけに留まらない。まず始めに挙げられる影響は経済的な損失である。国土交通省の調査によると、全国で1年間に発生する渋滞損失は約33.1億時間、貨幣価値で換算すると約10兆円にも上るとされている。<sup>(1)</sup>

さらに、CO<sub>2</sub>排出量増加による環境への悪影響も考えられる。近年の日本では、2050年カーボンニュートラルの実現や2030年度温室効果ガス46%削減に向け、国土交通分野におけるCO<sub>2</sub>排出量の削減に対するより一層の取り組みの推進が求められている。実際に、高速道路ではETC導入をはじめとした渋滞緩和策によって排出量の削減に成功した。<sup>(2)</sup>しかし自動車の速度とCO<sub>2</sub>排出量には相関があるため、低速で走行する車が多い一般道、特に慢性的に渋滞が発生する大都市圏の一般道ではCO<sub>2</sub>排出量が多い傾向にある。したがって、今後は一般道の渋滞対策に力を入れることで、環境への負荷をさらに減らすことが可能になると考える。このような交通渋滞の要因は様々であるが、主な原因としては交通量の多さ、道路工事や交通事故による道路規制、信号や踏切の存在などが挙げられる。

本研究では、様々な要因の中でも踏切を原因とする渋滞に着目し、マルチエージェントシミュレーションを用いて交通渋滞モデルを構築する。さらに、作成したモデルを利用して踏切が渋滞に及ぼす影響や改善策の効果を分析する。コンピュータを活用し、我々の生活に身近かつ重要な踏切道における交通渋滞問題の理解や問題意識の向上、そして改善に向けた支援を目指す。

## 2. 関連研究

コンピュータやシミュレーションを用いて、交通流を再現する研究や渋滞等の問題改善を目的とする研究は近年盛んに行われている。中川ら<sup>(3)</sup>はシミュレーション内にバスなどの公共交通を組み込むことで、都市部の交通流を精度良く再現している。また、藤井ら<sup>(4)</sup>はドライバーの視野や注視点の移動に基づく認知モデルを構築することで、交通事故が起こる様子をモデリングしている。

渋滞対策に関する研究として、萬屋ら<sup>(5)</sup>は拡張NSモデルを利用して渋滞緩和車を用いた高速道路の渋滞解消手法を提案している。また、高橋ら<sup>(6)</sup>は車の待ち台数に加え通過時間も考慮した信号制御の評価を行なっている。渋滞問題の改善を目指す研究の多くは高速道路や信号制御を対象としたものであり、都市部で大きな問題となっている踏切渋滞に着目している研究は少ない。

こうした中、踏切渋滞解消に向けて導入が進められて

いるシステムに「賢い踏切」がある。一般的な踏切は警報開始点が決まっており、その地点を列車が通過すると警報が鳴る仕組みになっている。一方で、賢い踏切は急行・特急と各駅停車の速度の違いに着目し、列車種別ごとに警報開始点を変えることで無駄な待ち時間を減らすシステムである。<sup>(7)</sup>(図1)実際に導入されている踏切もあり、踏切渋滞の改善策の1つとして期待されている。本研究の中でも6章の各種改善策の検討で取り上げる。

【従来の踏切】



【賢い踏切】

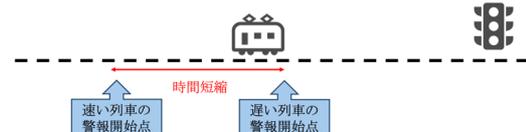


図1 賢い踏切のイメージ

## 3. 踏切道について

国土交通省の基準によると、「踏切道とは、鉄道と道路が交差する場所のことであり、踏切道改良促進法においては、鉄道と道路法による道路とが交差している場所のことを指す。<sup>(8)</sup>」

### 3.1 踏切道の現状<sup>(8)(9)</sup>

令和4年度の調査によると、全国には32,442箇所の踏切が存在している。踏切道改良促進法が制定される前の昭和35年には71,070箇所もの踏切が存在していたことと比較すると、約60年で半数以下まで減少していることが分かる。また、危険性が高い遮断機の無い踏切も大幅に減少しているが、未だ約1割が残っている。

### 3.2 踏切道の課題<sup>(9)</sup>

踏切道における主な課題は、大きく分けて2つある。

1つ目は安全面に関する課題である。踏切事故件数は昭和36年には約5,500件に上っていたものの、令和4年度には195件と約28分の1にまで減少している。これは踏切の減少とともに、危険な踏切道の整備や遮断機のない踏切の撤去などが行われたことによるものだと考えられる。しかし、依然として踏切事故は鉄道運転事故の約33% (195件/584件) を占めており、死傷者数においても約27% (137人/511人) と高い割合を占めている。

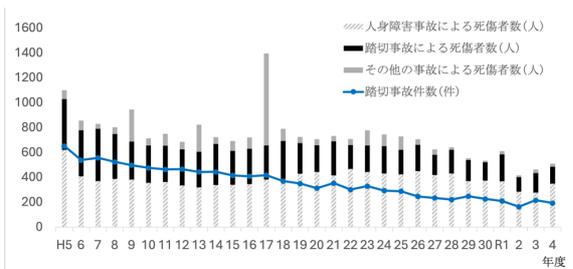


図2 踏切事故件数と鉄道事故による死傷者数の推移 (参考文献(9)をもとにグラフを作成)

そして2つ目の課題は、交通渋滞である。前述したとおり踏切道改良促進法の施行により、現在では9割の踏切に遮断機が設置されている。危険な踏切が減少した一方で、踏切による交通渋滞が新たな社会課題となっている。

#### 4. マルチエージェントシミュレーション

本研究で使用するマルチエージェントシミュレーション (以下、MAS) とは、自立した個々の主体が多数集まり、各々の行動ルールや主体同士の相互作用、主体と環境との相互作用を利用して社会現象をモデル化するシミュレーション手法である。MASの最大の特徴は、相互作用に焦点を当てたボトムアップ・アプローチであると言われている。従来のモデル化の考え方は、社会全体の性質を取り込んだモデルを作るというトップダウン・アプローチであるが、MASは局所的な関係をモデル化することで全体の性質は自ずと現れるという考え方をしている。<sup>(10)</sup>

また本研究では、プラットフォームとして構造計画研究所が開発した **artisoc** を使用してモデルの実装を行う。**artisoc** は動的シミュレーションであり、数値的な結果だけでなく視覚的に結果を可視化しやすいため本研究に適していると判断した。

#### 5. 基本モデルの実装

本章では、踏切によって渋滞が発生する様子をモデル化する。以下、このモデルを基本モデルと呼ぶことにする。

##### 5.1 対象地域の選定

はじめに、本研究で対象とする踏切道を選定する。対象地域の選定には、国土交通省による「踏切道安全通行カルテ」と「課題となる主な踏切道の基準」を参考にした。<sup>(8)</sup> 踏切道安全通行カルテとは、開かずの踏切などの「緊急に対策の検討が必要な踏切 (カルテ踏切)」を踏切の諸元、交通量、事故発生状況、対策状況等をまとめて公表したものである。ここでは令和3年9月末に発表されたカルテ踏切の中から、以下2つの基準 (表1) の両方に該当する踏切を対象地域とした。

表1 本研究で対象とした基準

踏切名	基準
開かずの踏切	ピーク時間の遮断時間が1時間あたり40分以上である。
自動車ボトルネック踏切	1日の踏切自動車交通遮断量が5万以上である。(踏切自動車交通遮断量=自動車交通量×踏切遮断時間)

以上より、本研究では京王線上の代田橋6号踏切と特例都道赤坂杉並線 (413号) とが交差する地点を中心とした範囲でシミュレーションを行う。この踏切は井の頭通り上に位置し、さらに付近には甲州街道と環七通りの2本の主要道路が走っている。(図3) また、周囲の道路より比較的幅が広い道路であることから、抜け道として利用する自動車も多く、特に自動車の交通量が多い踏切となっている。

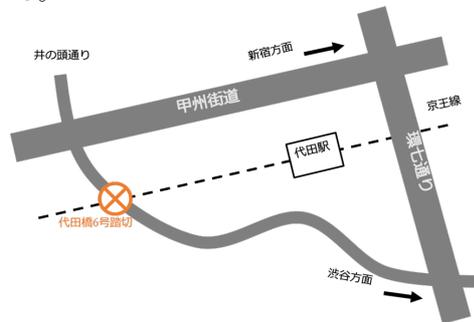


図3 代田橋6号踏切周辺のイメージ

##### 5.2 基本モデルの空間設定

国土地理院の航空写真を背景画像として読み込み、各設定を行なっていく。本モデルの空間は縦180m×横320mの区域の画像を使用しており、**artisoc** 上では縦90マス×横160マスの空間と設定した。したがって、**artisoc** 上の1マスは実測値で2mとなる。また1ステップは1秒とした。

##### 5.3 経路の設定

自動車が走行する経路は、**artisoc** の描画ツールを使用して設定を行なった。その際に用いるのが、目的地を表す Point エージェントとそれらのつながりを表す Link エージェントである。基本モデルでは上り車線と下り車線の道路に対して、それぞれ Point エージェントを20個 (図4上の赤い点)、Link エージェントを19個 (図4上の緑の線) 定義した。



図4 各種設定の様子

##### 5.4 踏切の設定と行動ルール

上り車線と下り車線の経路にそれぞれ1ヶ所ずつ踏切 (図4上の水色の丸) を定義した。実行時に踏切の状態を分かりやすくするため、開放時は緑色、遮断時は赤色に変化するよう設定を行なった。またシミュレーション開始時、踏切は開放状態となっている。その後は開放時間30秒、遮断時間150秒を繰り返す動きを基本の行動ルールとした。

## 5.5 自動車の設定と行動ルール

はじめに、自動車エージェントの基本的な設定を行う。東京都建設局のデータなどを参考に、自動車エージェントの発生数を決定した。1時間あたり上り車線では549台、下り車線では217台、総数として766台発生させるよう定義した。それぞれの車線の自動車エージェントは図4の黄色の丸の地点から発生数に応じてランダムに発生し、進行方向へ進む。またエージェントを発生させる際、各自動車に初期速度、最高速度、加速の3つの情報を持たせる。これらの値は以下の範囲内でランダムな値をとる。ただし、この値は現実での速度であるためモデル内で計算する際には *artiso*c 上の数値に変更して使用することに注意する。

表2 自動車エージェントの初期値の範囲

初期速度	30km/h ~ 60km/h
最高速度	10km/h ~ 40km/h
加速	2km/h ~ 4km/h

次に自動車エージェントの行動ルールの設定を行う。各自動車エージェントは、毎ステップ周囲の自動車や踏切の影響を受けながら自身の速度を変更する。具体的なルールは以下に示す。

- 1) 周囲 16m 以内にいる自動車の中で、自分と同じ車線かつ前方を走る自動車を前方車に設定
- 2) 前方車がいる場合、車間距離に応じた速度に変更
- 3) 初期値の加速以上に速度を上げようとした場合は現在の速度に加速を足す
- 4) 周囲 4m 以内にある踏切の中で、自分と同じ車線の踏切を前方踏切に設定
- 5) 前方踏切があり、遮断機が降りていた場合、距離に応じた速度に変更
- 6) 初期値の加速以上に速度を上げようとした場合は現在の速度に加速を足す
- 7) 前方車と前方踏切によって更新した速度のうち、低速の方を次のステップの速度とする
- 8) 前方車と前方踏切がない場合、現在の速度に初期値の加速を足す

## 5.6 検証結果 -基本モデル-

本研究では、1回のシミュレーションを3600ステップ、すなわち1時間とし50回実行した。また、空間内の道路を1時間で走り切った自動車の台数(以下、交通量)を表3に示す。

表3 基本モデルの交通量(50回実行)

	上り車線(台)	下り車線(台)	総数(台)
平均	137.08	136.98	274.06
最大	142	142	281
最小	131	130	266

この結果を見ると、1時間で発生させた自動車のうち約65%が時間内に道路を走り切ることができなかつたと分かる。実行すると、自動車の流れが次第に悪くなり多くの自動車が停止、または低速走行している様子が確認された。(図5)

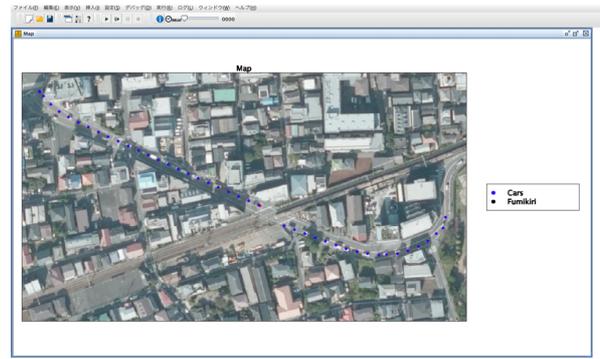


図5 実行時の様子

## 6. 各種改善策の検討

### 6.1 改善策について

これまで述べてきたように、開かずの踏切やボトルネック踏切は危険性が高く、さらに交通にも大きな影響をもたらしている。多くの問題を抱えているため早急に対策を講じる必要があるものの、実際は対策の進みが遅いという状況にある。これは、現在の主な改善策が高架化や立体交差化といった踏切を撤去するという抜本的な対策であるからだと考えられる。この対策は確実に問題の解決を見込める反面、莫大な時間や事業費、長期間の工事が必要となるため、対策を行える踏切は限られてしまう。

そこで先程の基本モデルを活用し、各種改善策は踏切道における交通渋滞にどのような影響を与えるのか検証を行なっていく。本研究では次の3つの改善策を扱う。また、それぞれの改善策を適用するため表4のようにモデルに変更を加えた。

- 高架化：根本的に踏切自体を撤去してしまう方法
- 二車線化：片道1車線の道路を2車線に増幅する方法
- 賢い踏切：列車種別に応じて警報開始点を変え、無駄な待ち時間を解消する方法

表4 モデルの変更点

対策名	変更点
高架化	踏切エージェントの行動ルールを遮断時間0秒にし、踏切を撤去する
二車線化	経路を二車線に増やし、自動車エージェントの発生地点も2箇所にする
賢い踏切	3割が各駅停車だと仮定して、その際に開放時間を30秒延長する

### 6.2 検証結果 -各種改善策-

前節で述べた変更を行い、基本モデルと同様の条件で実験した。各策の交通量を以下の表5~表7に示す。基本モデルと比較すると、全ての改善策で交通量の増加の様子が確認できた。

表5 高架化モデルの交通量(50回実行)

	上り車線(台)	下り車線(台)	総数(台)
平均	501.82	199.82	701.64
最大	536	228	752
最小	448	172	645

表6 二車線化モデルの交通量 (50 回実行)

	上り車線(台)	下り車線(台)	総数(台)
平均	275.5	193.16	468.66
最大	285	223	501
最小	265	159	439

表7 賢い踏切モデルの交通量 (50 回実行)

	上り車線(台)	下り車線(台)	総数(台)
平均	178.70	172.28	350.98
最大	214	203	417
最小	147	146	293

### 6.3 検討・考察

最後に、各種改善策の特徴やどのような踏切道に効果的であるのかを考察していく。その際、交通量に加え道路を走り切るまでにかかったステップ数 (以下、通過時間) と自動車の平均速度 (以下、平均速度) を評価指数とする。

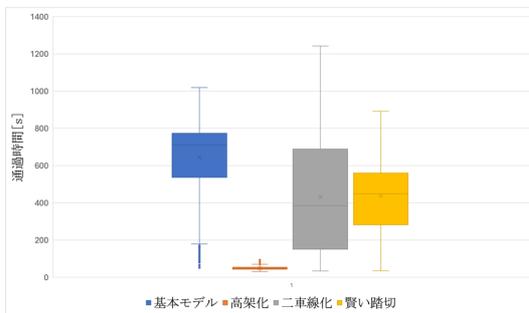


図6 通過時間の比較

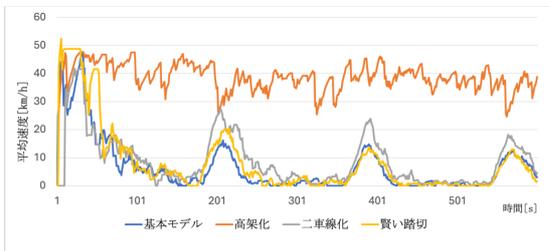


図7 平均速度の比較

最も効果的であるのは高架化だと言える。全ての評価指数で大きく改善が見られた。一方、交通量が少ない道路 (下り車線) に対しては他の策と同程度の効果であるため、工事期間や費用を考えると、必ずしも最良の策とは言えない。ゆえに、交通量が多く渋滞による様々な問題が発生している地域においては、積極的に取り入れるべきだと考えられる。

二車線化について、この策に関しても全ての評価指標で改善が見られた。しかし、この策を講じるには十分な土地が必要となることを考慮する必要がある。したがって、土地や車線の幅に余裕があり、かつ費用や工事期間を考慮したい場合に適していると言える。また、通過時間の範囲が大きくなっているが、これは車線をランダムに選んでいるため片側に交通量が偏ってしまう場合の影響だと考えられる。経路選択の計算などを導入することで、モデルの改善をしていきたい。

賢い踏切に関しても一定の効果が見られた。しかし、通過時間の平均は他のものよりも長い。また、この策は各自

動車の待ち時間にばらつきが出る可能性が高いと考えられる。さらに、他の策に比べて平均速度の改善があまり見られなかった。ゆえに、各駅停車の割合が高い駅付近の踏切においては効果的であると考えられる。

以上のことから、各種改善策には特徴があることが分かった。本研究で得られた結果とその地域の課題や周囲の交通状況等を踏まえることで、適切な改善手法の実践が可能になると考える。

## 7. GIS データの活用に向けて

本研究の基本モデルでは、対象の踏切とそこを通る一本の道路に着目して実験を行った。しかし、実際には周辺の道路状況や施設による影響を受ける。そこで、より広範囲のシミュレーションを行えるよう GIS データを活用し、より詳細な道路状況の再現に取り組んでいる。



図8 GIS データ活用例 (青線が道路を示す)

## 8. おわりに

本研究では踏切道における交通渋滞モデルを構築し、改善策の検討を行なった。踏切が交通流に与える影響や各種改善策がどのような踏切道に適しているのかを明らかにした。今後は、精度向上を目指した GIS データの活用や渋滞学に基づく経路選択、周辺の道路状況を反映したモデルの構築を行いたい。さらに、本研究では既存の改善策のみを扱ったが、新たな踏切制御システムの提案・評価を行なっていきたい。

## 参考文献

- (1) 国土交通省: "平成 19 年度国土交通白書", pp.23-24 (2007).
- (2) 国土交通省: "令和 4 年度国土交通白書", p.353 (2022).
- (3) 中川大, 伊藤雅, 小出泰弘: "公共交通と自動車交通を統合した都市交通シミュレーションシステムの構築", 土木情報システム論文集, 7.0, pp.97-104 (1998).
- (4) 藤井秀樹, 吉村忍, 高野悠哉: "マルチエージェント交通流シミュレーションにおける交通事故モデリング", 人工知能学会論文誌, 26 卷, 1 号, pp.42-49 (2011).
- (5) 萬屋賢人, 菅原俊治: "渋滞緩和とエージェントモデルによる渋滞緩和の提案と評価", 情報処理学会論文誌数理モデル化と応用 (TOM), 4 卷, 4 号, pp.1-9 (2011).
- (6) 高橋光紀, 篠田孝祐, 諏訪博彦, 栗原聡: "マルチエージェントモデルによる信号制御シミュレーションの考察", 研究報告知能システム (ICS), 7 号, pp.1-6 (2014).
- (7) 国土交通省, "踏切対策のスピードアップ": <https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-perform/h18/10.pdf>.
- (8) 国土交通省ホームページ, "踏切対策の推進": [https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/fumikiri/fu\\_index.html](https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/fumikiri/fu_index.html).
- (9) 国土交通省鉄道局, "鉄軌道輸送の安全に関わる情報 (令和 4 年度)".
- (10) 影山進, "人工社会構築指南 -artisoc によるマルチエージェント・シミュレーション入門", 書籍工房早山, (2008).