

マルチエージェントシミュレーションによる踏切道の交通錯綜状況の再現*

On the traffic conflict simulation on railroad crossing using multi agent approach*

高石大輔**・宮下聡一郎***・岩倉成志****

By Daisuke Takashi**・Sohichiro Miyashita***・Seiji Iwakura ****

1. はじめに

踏切は横断する歩行者、自転車、自動車などの通行者にとって、限定的な通行空間であり、踏切開放直後は閉塞時に滞留した多くの交通主体が踏切内という狭い通行空間で交錯することとなり交通錯綜が生じる。

列車運行の安定性を高め、列車と通行者の安全を確保するためには踏切の改良が必要不可欠である。現在は、部分的に外部からの視認性向上のためのオーバーハングや踏切内での残留を検知する障害センサーの設置、オーバーパスやアンダーパスの構造的対策などが行われているが、本来は全箇所でも根本的解決策である道路と鉄道の立体交差が実施されるべきである。しかし、立体交差事業は非常に高コストであり、財政の関係上すべての踏切に対応することは難しい。未改良のまま残置されている踏切の多くは都心部と比べ比較的財政が脆弱とされる地方部に存在する。

地方部においては低廉かつ効果的な対策が切望されているが、現状では、踏切部における対策の効果の定量的分析を行うための詳細なデータは整備されておらず、評価手法も確立されていない。

よって、本研究では踏切部における対策案実施時の安全性向上の定量的評価手法の検討を目的とする。地方幹線鉄道である山形新幹線（福島ー新庄間）の踏切を対象に、現地調査とシミュレーションシステムの開発を試みる。

以下、2. では本研究対象踏切の現状と現地調査で取得したビデオ画像より交通錯綜状況時における各主体の挙動データを抽出し、座標データとして整理した方法について述べる。3. では、取得した各交通主体の挙動データをもとに、各主体別の行動アルゴリズムを作成し、

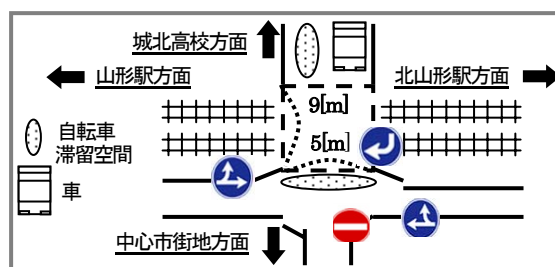


図-1 肴町踏切の概略と周辺交通規制図

構築したマルチエージェントシミュレータの試作システムを紹介するとともに、そのシステムの現状再現精度についての検証を行った結果を示す。4. では本研究で得られた知見と課題の整理を行い、今後の本研究の方向性を述べる。

2. 調査対象地区概要とデータ取得

(1) 調査対象地区概要

本研究で対象とした肴町踏切は山形駅と北山形駅との間に位置する。図-1 に肴町踏切の概略と周辺交通規制を示す。肴町踏切を研究対象として選定した理由としては過去10年間支障回数が20回にも及び、周囲の踏切に比べ高い値を示していることや朝の交通ピーク時は交通量が急激に増加し、日常的に交通錯綜状況が見受けられることなどが挙げられる。当踏切は幅員狭小かつ対面通行であることや自転車の滞留スペースの不足であると問題を抱えており、これらの要因が交通錯綜の発生に大きく影響している。

(2) データ取得

挙動データは、踏切道内の交通状況を高角度上方より納めたビデオ画像より取得する。撮影日は2005年11月7日～9日の計3日間である。また、撮影時間帯は、ピーク交通量発生時間帯を含んだ午前7:00～午前9:00とした。計51回の踏切開閉を確認することができた。また、その中で踏切道内での交通錯綜が確認できたのは12回となっている。

その12回の画像データをそれぞれ0.5秒間隔に分割

*キーワード：踏切、マルチエージェント

**学生員、芝浦工業大学大学院 建設工学専攻

(〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5、

TEL03-5859-8354、FAX03-5859-8401)

***非会員、日本技術開発株式会社 名古屋支社 道路交通部

(〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南1-27-2、

TEL052-533-0600、FAX052-533-1606)

****正会員、工博、芝浦工業大学工学部土木工学科

する。分割された画像上での各主体の位置座標をマーキングし、数値化したデータとして取得する。マーキングポイントは自動車は車頭両端部、自転車は運転者の頭部とした。本来は、交通体と地面との接地点をマーキングするのが理想的であるが、画像の鮮明度の関係上、前述地点をマーキングポイントとして扱う。ビデオ画像より取得したデータはビデオ座標系であるため、現地測量を行い測地座標を取得した上で、射影変換法を用いて測地座標系への変換を行う。これらの工程を経て得た位置座標データをもとに、挙動データの取得を行った。

3. マルチエージェントシミュレータの構築

(1) マルチエージェントシステム

マルチエージェントシステムとは、それぞれが異なった判定アルゴリズムを持つエージェントを複数設定して、人工社会を構成し、エージェント間での相互作用をシミュレーションするシステムのことを指す。

踏切道内においては、衝突回避と通過時間短縮という単純な行動原理のもとで、各主体が相互影響を及ぼし合いつつ、自律的に行動判定を行っており、マルチエージェントシステムの適応性は高いと考える。

参考としたマルチエージェントシミュレータを用いた既往研究に、災害時における群集の非難経路選択行動の分析¹⁾や人間の心理等の要素を盛り込んだ災害時の交通行動分析²⁾、障害物の存在が各交通主体にどのような影響を及ぼすかを分析した研究³⁾などが存在する。

本研究では株式会社構造計画研究所が開発したプログラミングソフトウェアであるマルチエージェントシミュレータ *artisoc* を使用することとした。*artisoc* は Visual Basic 言語をベースとし、操作性が高いといった特徴を有する。次節以降でシミュレーション環境設定と行動ルール設定の2種類に大別し記述する。

(2) シミュレーションの環境設定

a) エージェント設定

本研究では車と自転車の2種類のエージェントを設定した。本来、歩行者もエージェントとして設定すべきではあるが、画像データが得られた歩行者データサンプル数が非常に少ないため、データの信頼性に乏しく、本研究ではエージェントから除外する。

b) 空間設定

本研究では、シミュレーション上で扱う最少の数値である自転車エージェント幅、つまりは人間の肩幅に1セルの大きさを合わせるため、1セルを0.5 m×0.5 mと設定した。一般的に99%の人の肩幅は52.6 cm以下であるとされ、完全に服を着た状態においては57.9 cm以下の肩幅を持つとされている。

表-1 自転車の運動能力

	最高速度 (m/s)	加速度 (m/s)	減速度 (m/s)	平均減速率 (%)
城北高校方面	3.20	0.10	-0.85	6.13
中心市街地方向	3.40	0.08	-0.06	4.17

全体空間の設定としては踏切道内だけでなく踏切周辺部の道路環境による影響も考慮するため、踏切部を中心として半径約10 mの道路構造を取り込んだものとした。

c) 実行 Step 間隔の設定

人間の意思決定は瞬時に行われ、随時その意思決定が非常に短いスパンで繰り返し行われていると仮定する。実行 Step 間隔を0.1秒という短い間隔に設定することで、シミュレーション上での現実の反映を試みた。

d) エージェント種ごとの運動能力

最高速度や加速度、減速度、減速率といった基本的な運動能力をエージェントの種類別に設定を行った。減速率とは現在の速度を1STEP前の速度で除した値のことを指す。設定には2. で取得した画像より得られたデータを用いた。例として自転車エージェントの各項目の値を表-1に示す。

(3) 行動ルールの設定

2. より得られたデータや現地調査で得られた知見をもとに各エージェントの行動アルゴリズムの設定を行う。行動アルゴリズムは意思決定を行う時点で、エージェント自体が置かれている状況を条件文にて場合分けを行い、状況に即した行動を選択させるルールとなっている。

各交通主体の行動アルゴリズムを基本としてエージェントルールを設定する。各交通主体の行動アルゴリズムでは、そのときのエージェント自体の置かれている状況を条件文により場合分けを行い、場合分けした状況に即した行動を選択させるルールとなっている。図-2に自転車アルゴリズムの一連の流れを示す。また条件例を以降に示す。

a) 自転車エージェントの行動ルール

①障害検知設定

エージェントを中心とし、半径5 m以内かつ前方180°以内の範囲に存在する物体を障害として検知する。さらにその中から、自分の進行ルート上に存在し、かつ一番手前に存在する障害を特定する。なお、遮断機付近では遮断機の開閉状態の検知を行い、閉塞時は遮断機手前1 mで停止する。

②方向補正設定

障害回避行動のひとつとして設定する。障害対象エージェントが対向方向と同方向の場合で異なる判定条件を課す。前者の場合は、回避行動を行う際に、同方向で先行しているエージェントの背後に出来るスペースに優先

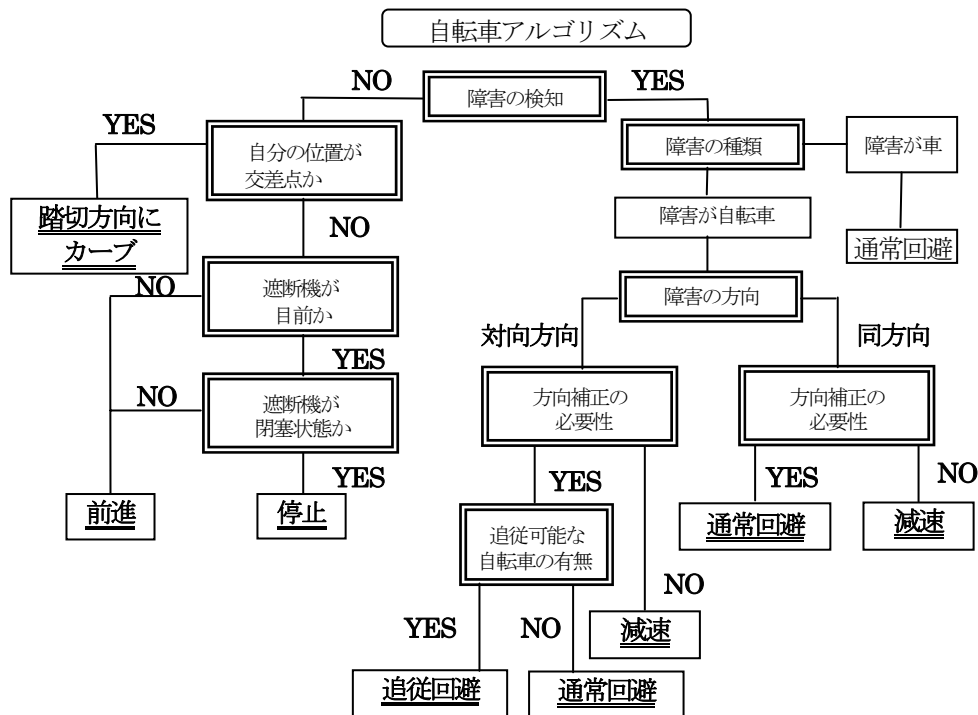


図-2 自転車アルゴリズムの一連の流れ

して進行方向の補正を行う「追従回避」と、単純に周囲の空き空間を検知し、進行方向補正を行う「通常回避」の2パターンよりどちらか一方を選択する。後者の障害対象エージェントが同方向の場合は通常回避を行う。進行方向補正角度は $5^\circ / \text{Step}$ とする。

なお、城北高校方面に向かう際に交差点を曲がる自転車エージェントには以下の設定を追加した。自転車と地面がなす角（バンク角）が θ の時、速度 v での回転半径 R は $R = v^2 \tan \theta / g$ で表わされる。バンク角を 75° で一定とし、速度とバンク角から算出した回転半径より補正に要する円周長、Step 数を求める。Step 数と角度差より Step 毎の補正角度 ω を算出し、補正值として使用する。

③減速設定

障害回避行動のひとつとして設定する。障害対象エージェントに対して方向補正を行う必要がない場合を選択するものとする。ここでの減速は挙動データより取得した減速率とする。

b) 車エージェントの行動ルール

①障害検知設定

自転車エージェント同様に進行方向上の障害を検知する。障害までの接近距離は次に記述するドライバー特性に依存する。なお、遮断機付近では遮断機の開閉状態の検知を行い、閉塞時は遮断機直前で一旦停止する。

②ドライバー特性設定

2. で取得した画像データより、障害エージェントへの接近距離はドライバーごとに大きな相違が観測された。

そこでドライバーが障害に接近する距離に幅を設け、個人特性の反映を行う。変数は障害までの距離を車速度で除し、算出される推定障害到達 Step 数を用いる。本研究ではこの変数を 40~60 までの値をとるものと設定した。

(4) シミュレーションの再現性

図-3 にシミュレーション実行画面を示す。中心市街地方向に車 1 台、自転車 6 台、城北高校方向に自転車 10 台を通行させている。自転車エージェントの先端は停止時が黒、通常前進時が黄色、通常回避時が緑、追従回避時が青へと色が変わるように設定し、その時点におけるエージェントの選択行動を目視で判断出来るようにした。

図-4 に画像データとシミュレーション結果における自転車エージェントの軌跡、表-2 に平均踏切通過時間を示す。シミュレーション上では両方向ともエージェント間の差異があまり生じず、狭い範囲でまとまった軌跡図を描き、画像データ上の軌跡とは多少の相違が見受けられる。また、平均踏切通過時間においては、両方向とも 0.5 秒前後の過小推定がみられる。エージェントの行動ルールや認知能力、運動能力の設定などのさらなる精緻化が今後必要である。

上記のシミュレーションを行うことによって、各エージェント別の 1 Step 毎の X, Y の位置座標データや方向補正回数などが数値出力される。踏切改善対策案を反映させたシミュレーションを行い、数値データを取得することで踏切改良後の安全性の向上を定量的に評価す

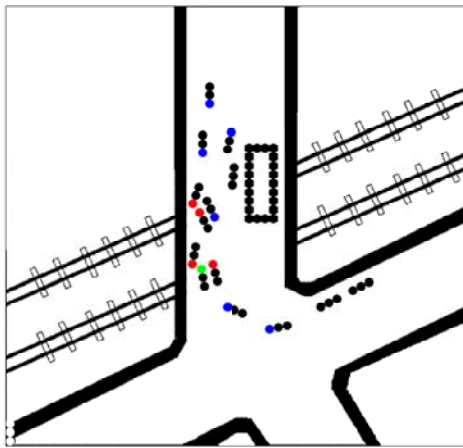


図-3 シミュレーション実行画面

ることが可能となる。

4. おわりに

本研究では、マルチエージェントシステムを用いたシミュレータを用いた踏切道における交通錯綜の再現を試みた。筆者らはすでに踏切幅員の拡幅や、通行方向の規制を行った場合の踏切道の通過秒数や障害を検知した自転車の方向補正の回数などによって、踏切部での対策改善案実施時の安全性向上の定量評価を進めている。

今後の課題としては、シミュレータ精度向上や危険度判定指標の確立、シミュレータの汎用性向上が挙げられる。精度向上に関しては、様々な条件下にある踏切道においてデータの蓄積し、システム内の行動アルゴリズムの精微化を行うことで対応していきたい。また、その際に蓄積するデータは交通主体と地表面接地点でのマーキングが可能と出来るような鮮明な画像データとし、不確定要素の排除に努めたい。

危険度判定指標はシミュレート結果から算出される危険度と実際の支障回数との相関性を見て改善を行い、精度向上を図り確立に繋がりたいと考えている。

踏切部における交通錯綜は都心部、地方部を問わずに発生しており、一様な安全度評価手法として使用するためにはシミュレータの汎用性向上は必要不可欠である。踏切の構造だけでなく、接続道路構造や利用者属性、利用状況などの異なった踏切でのデータ収集を重ね、分析を進めることで汎用性の向上に努めたい。

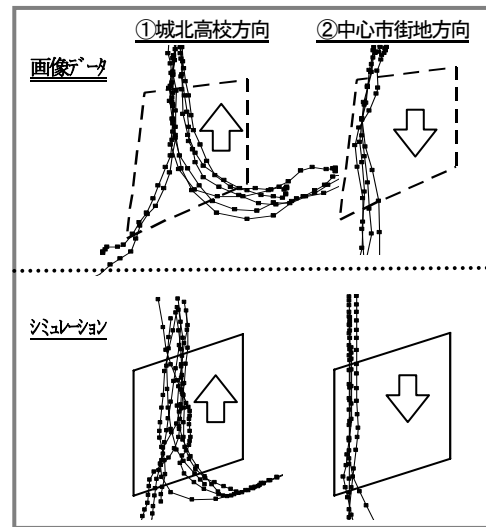


図-4 画像データとシミュレーションの軌跡比較

表-2 平均踏切通過時間(秒)の比較

	実測値	推定値	差分
城北高校方向	5.71	4.98	(-0.73)
中心市街地方向	5.34	4.74	(-0.60)

参考文献

- 1) 堀宗朗, 宮嶋宙; "マルチエージェントとGISを用いた群集避難シミュレーション"; 日本地震工学シンポジウム論文集, Vol2, pp. 304-311, 2006
- 2) 渡部正一ほか; "運転者特性を考慮した災害時の交通行動に関する研究"; 土木計画学研究・講演集, Vo33, pp. 273-276, 2006
- 3) 西川悟史; "マルチエージェントモデルによる路上障害物を考慮した自転車歩行車道の評価に関する研究"; 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vo61, pp. 141-142, 2006