

地方幹線鉄道における踏切道の交通錯綜シミュレーションシステムの開発

建設工学専攻
土木計画研究

507057 高石 大輔
指導教員 岩倉 成志

1. 研究の背景と目的

踏切部においては、横断する歩行者・自転車・自動車などが限定的な空間での通行を余儀なくされる。踏切解放直後は閉塞時に滞留した多くの交通主体が踏切道内という比較的狭小な空間で交錯し、これにより交通錯綜が生じる事となる。錯綜の度合いや状況によってその大きさは異なるが、発生した交通錯綜は踏切内で支障を生じさせる可能性を孕んでいる。地方部では、在来線の軌道を利用することで早期の利用者利便の実現が可能である新在直通運転方式等の導入が行われ（山形新幹線、秋田新幹線）、踏切内を列車がより高速で通過するといった状況下にある。そのような中、もしひとたび踏切道内で支障が発生した場合は人命の損失などの大事故に繋がる可能性が高い。また、その影響は列車の遅延や運休に直結し、社会に与える負の影響は非常に大きい。今後、列車の運行安定性を高め、列車と踏切利用者の双方の安全を確保していくためには踏切部の統廃合や改良が必要不可欠であると考えられる。

踏切事故発生件数は、近年ほぼ横ばいで推移している。また踏切事故は依然として運転事故全体の約 5 割を占めている。踏切事故をさらに削減するために、踏切部の構造と利用環境に応じた適切かつ効果的な踏切対策を進める必要がある。しかし、踏切部における対策の効果を定量的に分析する為のデータ整備は行われていないことや、各踏切部が抱える危険性の構成要素は未だ不明瞭であり、対策案実施時の安全性向上の評価手法や評価指標も未だ確立に至っていないことなどが挙げられる。そこで本研究では、マルチエージェントシミュレーションによって踏切道内の交通錯綜状況を再現し、踏切部での改善対策案実施時の安全性向上の定量評価手法の検討を目的とする。

2. 地方部の踏切対策の特性を考慮したシステム開発方針

2.1 地方部の踏切対策の特徴

都心部での踏切では開かずの踏切などが非常に問題視されているが、地方部においては狭小な踏切道幅員や踏切道内に歩道が整備されていないなどの事から日常的に交通錯綜が発生し、それにより踏切利用者同士の衝突危険性が高まっている事が大きな問題である。

踏切道への安全対策は大きく分類すると、交差する道路と鉄道の立体交差や踏切の統廃合といった『抜本対策案』と構造改良や保安設備整備などの『速効対策案』の 2 種類に分けられる。理想としては、全ての踏切部で根本的解決案である立体交差の実施が望ましい。しかしながら、立体交差事業は膨大な事業費と長い施工期間を必要とする。よって、財政等の制約などからすべての踏切に対応する事は非常に困難である。費用に関して言えば、国土交通省が国庫補助事業として推し進めている連続立体交差事業では国と地方公共団体が費用の約 9 割、残りの 1 割を鉄道会社の負担としている。国と地方公共団体が費用の大半を負担するという体制から、都心部と比べ比較的財政が脆弱とされる地方部では、未改良の踏切が数多く見受けられる。

それらの莫大な費用と期間を必要とする抜本的対策案に対して、速効対策案は比較的安価な事業費かつ短期間での施工で実施できるものが多い。（図-1 参照）よって地方部の踏切対策ではこちらの対策案が用いられることが多い。先に挙げた財政上の問題のほかにも、地方部では比較的交通量が少ない為に、改良工事の費用対効果が低く算出されてしまう事も地方部で踏切改良に着手されにくい要因の 1 つである。

2.2 シミュレーションシステムの開発方針

前述したような状況下において地方部では低廉かつ効果的な対策案が切望されている。しかしながら、表-1 で挙げたような実際に行われている対策案から得られる効果を定量的に評価するのは非常に難しい。定量評価を行うためには、

表-1 対策案の種類と内容

※ 山形新幹線建設調査報告書 参照

対策	目的	内容	
保安設備の強化	とりの防止	① 障害物検知装置の設置	
	視認性の向上	① 門型踏切標識の設置 ② オーバーハング警報機の設置 ③ 踏切部のカラー舗装の導入（踏切周辺部含む）	
	無謀な侵入の防止	① 2段式遮断棒の設置 ② 遮断棒の大型化	
交通規制	交通流の整流化	① 車両通行規制 ② 一方通行、車幅、時間等の交通規制 ③ 大型車両交通規制	
		構造改良	交通流の整流化



オーバーハング

交通規制

大型遮断棒

改善対策案を講じたことによって踏切利用者の行動にどのような変容を及ぼすかを言及しなければならない。そのためには踏切道内における各交通主体の行動判定ルールを明らかにする事が必要不可欠となる。そこで、本研究においては踏切道内における各交通主体の行動ルールを明らかにし、マルチエージェントシステムを用いて、それらの行動判定ルールを組み込んだシミュレータを構築し、現況の再現を試みる。

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有し、多数の自律的に行動を行うエージェントから構成され、各エージェント間での局所的な相互作用のシミュレーションが行えるシステムである。踏切道内においては、衝突回避と通過時間の短縮といった単純な行動原理のもとで、各交通主体が相互に影響を及ぼし合い、刻一刻と変化する状況下において、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られる。

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、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などが存在する。

本研究においては、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持つ。

また、交通量や通行量のピーク時間帯、踏切の構造・寸法、各交通主体の挙動を高角度上方から収めたビデオ画像など比較的簡単に入手できるものを利用してシミュレーションシステムの構築を行うことで、将来の汎用性の向上に繋げていきたいと考えている。ここで挙げたビデオ画像に関しては 3. にて詳しく記述する。

3. 調査対象と使用データ

本研究では新在直通運転が導入されている山形新幹線の軌道内に存在する肴町踏切と並松踏切の 2 箇所を調査対象とした。肴町踏切は近傍に高校への通学路である事や中心市街地方面への自動車の通勤路となっている事から朝夕のピーク時は激しい交通錯綜が生じている。また、構造的には幅員が狭小であることや自転車・歩行者の滞留スペースが不足しているなどの問題点を抱えている。並松踏切は終日を通じてさほど激しい錯綜が生じることはない。しかしながら、小学生の通学路となっているにも関わらず、踏切道内で歩道が寸断さ

れているといった構造的欠陥を抱えている。

踏切近傍に高所作業車を設置し、地上高約 13~15mの高角度上方よりデジタルビデオカメラで撮影した画像を用いて、各交通主体の挙動データを取得する。高角度から撮影する理由は、主体間のオクルージョン（重なり）の回避と座標変換処理時の誤差を小さく抑える為である。次に挙動データの取得手順を記す。まず、取得したビデオ画像を 0.5 秒間隔で分割し、その都度、各主体の位置座標のマーキングを行い数値化されたデータとして取得する。しかしながら、このデータは 3 次元のビデオ系座標のため、分析に使用するためには 2 次元の測地系座標への変換が必要となる。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への変換作業を行う。これらの作業によって得られた位置座標データをもとに各交通主体の挙動データを得る。本研究での射影変換作業を行った後の誤差は平均で 0.3m 程度と良好な結果を示している。

4. 踏切部錯綜シミュレーションの開発

4.1 シミュレーションの再現性

図-1に実際のシミュレーション実行画面を示す。上方方向に自転車8台、下方方向に自動車1台と自転車4台を通行させている。また併せて、踏切ごとの各自転車の最高速度の平均を表-2に、踏切部の平均通過時間を表-3に示す。表-2より肴町踏切と並松踏切の間で自転車の平均最高速度に7%前後の相違が見受けられることがわかる。これは各踏切における個人属性や各交通主体の比率などが作用したのではないかと考えられる。肴町踏切では近傍に高校が存在する事から、自転車利用者のほとんどが高校生に偏っている。また、高校生ということで登校時間が定められており、心理面で焦りが生じて移動速度が向上している可能性も考えられる。

続いて踏切通過時間の平均について記す。進行方向に関係なく両方向ともに推定値が実測値を下回る過小推定となっている。実測値と推定値で10%程度の誤差を生じてしまっているため、今後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必要であると考えられる。

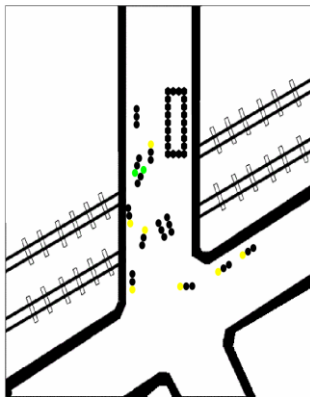


図-1 シミュレーション実行画面

表-2 自転車の平均最高

	肴町踏切	並松踏切
平均最高速度 (m/s)	2.926	2.570

表-3 踏切通過時間の比較

データ種	肴町踏切	
	実測値	推定値
上方	5.71	4.98 (-0.73)
下方	5.34	4.74 (-0.60)

※ ○内の数値は実測値と推定値の
※ 表内の数値の単位はすべて〔秒〕

4.2 踏切改善対策案の評価検討

岩倉・宮下・高石(2008)¹⁾らは本研究で構築したシミュレータを用いて、実際に4種の低廉な踏切改善対策案の評価検討を行っている。評価は方向補正回数と通過秒数の2項目の増減にて行った。その結果、自転車に関する対策案としては車両進入禁止などの自転車の自由走行空間の創出だけでは十分な改善効果は得難いという結論に至った。また同時に、それらの対策も、進行方向ごとの通行帯分離などの他の対策と複合させて1つの対策とする事で、交通錯綜の抑制に効果的に働くと考えられる。

5. シミュレーションシステムの課題

ここでは本シミュレーションにおける課題点とそれに対する既存の知見の整理を行った。それをまとめて表-4に示す。例として以下に数点の詳細について示す。

表-4 課題点とそれに対する既存の知見の整理

問題点	内容	既存の知見
個人特性	① 年齢差	様々な面で高齢者と若者に大きな相違が見受けられる
	② 男女差	男女間で移動速度に相違が見受けられる
運動能力	① 回避開始距離	対象となる障害の種類や進行方向によって大きな相違が見受けられる
	② 反応遅れ	通常、人間は反応してから行動するまでに1.0~2.0秒のタイムラグが生じる
心理面	① 踏切閉塞直前の行動	踏切閉塞直前は移動速度が上昇傾向にある ※ 遮断機降下や警報機作動による心理的ストレス・焦り
	② 横断時の自転車下車	踏切通過時に自転車を下車して手で押して通行する場合がある
	③ 音による影響	音が行動変化に影響を及ぼす ※ 自転車のクラクションや接近するエンジン音等 ※ 本来は発地点でのマーキングが好ましい ※ 本研究では対象の移動度の確保上、原則でマーキングを行っている(自転車・歩行者)
データ取得	挙動データの正確性	① マーキング点

(1) 男女差

男女別の歩行速度の違いに着目した既往研究としては、中山(1991)²⁾や安藤(1998)³⁾建部(1997)⁴⁾が存在する。中山らの研究成果によると、性別による歩行速度の違いは大きく、その分布にも大きな相違が見受けられたとされている。男性は女性に比べ0.11 [m/s]も早い速度で走行していると論じている。我々の研究においては、エージェントに性別を認識させておらず一様に扱っている。この点は今後検討すべき点の1つであると考えられる。しかしながら、両者による研究は制約条件のない自由な歩行空間での歩行速度に関するの言及であり、狭小なスペースでの歩行を余儀なくされるなど、様々な諸条件が複雑に絡み合う踏切部において、同様の傾向が見られるかには疑問が残る。

(2) 回避開始距離

本研究ではエージェントを中心とし、半径5m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しそれを対象に回避行動を開始するという設定となっている。本研究では回避行動開始距離を障害物の進行方向に関わらず一様に定めているが、朝田(2000)⁵⁾や建部(1990)⁶⁾によると、障害となる対象物の種類や進行方向によってその値は大きく異なると論じられている。

(3) 人間の反応遅れ

通常、人間は刺激や変化に反応してから、それに対する行動に移るまでに1.0~2.0秒を要するとされている。本研究においては人間の意思決定は瞬間瞬間に行われていると仮定し、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ている。しかし、その弊害として前述したような反応遅れは再現されておらず、エージェントが行った行動判定が0.1秒後に実行されてしまう状況となっている。このような現実と即していない行動ルールの影響が、4.で示した現実の挙動状況とシミュレーションによる推定結果との乖離を生じさせてしまっているのではないかと考えられる。

6. まとめ

今回、現地調査によって取得した実際の挙動データから得た値を基に、マルチエージェントシミュレータによる踏切道内の歩車の挙動再現を試みた。今後の課題としては4.で挙げた問題点を解決し、シミュレータの再現性を向上させることが挙げられる。今後は、複数の踏切道を対象にするなどしてデータの蓄積を増加させ、行動ルールの追加・修正等を行い、精緻化を図っていきたい。

参考文献

- 岩倉ほか; "在来線踏切道における踏切道の交通錯綜シミュレーションシステム" 交通工学, No.42, vol.5, pp.33-40, 2008
- 中山ほか; "歩行挙動の分析とそのモデルについて", 交通工学研究発表会論文報告集, 1991
- 安藤ほか; "人の流れを予測する", RRR, pp.30~33, 1988
- 建部ほか; "歩行者の回避行動における男女差" 日本建築学会学術講演梗概集E-1, 建築計画1, Vol.1997, pp731-732
- 朝田ほか; "自転車と歩行者の回避行動に関する考察" 地理情報システム学会講演論文集 Vol.9, pp281-284, 2008
- 建部ほか; "歩行者の回避行動に関する研究" 日本建築学会学術講演梗概集E-1, 建築計画1, Vol.1997, pp731-732, 1997