

# マルチエージェントシステムによる 学校敷地内歩車混合交通のモデル化

秋田工業高等専門学校 環境システム工学専攻 新屋敷学  
指導教員 長谷川裕修

近年、保護者による送迎車両が校門付近や学校周辺で原則禁止である駐停車を行い、近隣住民への迷惑となり、問題となっている。これに対し、学校は秋田高専敷地内への送迎車両の乗り入れ許可を検討しているが車両の増加に伴う学生の安全性の低下が懸念される。そこで本研究は、秋田高専で検討している送迎車両の学校敷地内への乗り入れ許可が与える影響を検討することを目的として、MAS により学校敷地内における歩車混合交通モデルを構築し、シミュレーション実験を行うものである。

**key words:** 歩車混合交通, マルチエージェントシステム, 歩行者安全, シミュレーション

## 1. はじめに

都市空間において、歩行者・車両・自転車などの交通主体は、道路交通法や自然発生的な慣習・規範に従い、また、周囲の環境や他者と相互に影響を与え合いながら自律的に行動している。その結果、円滑な交通が実現する場合もあるが、錯綜回避のための減速が原因となって渋滞が発生したり、不注意やルール無視が交通事故につながったりといった望ましくない結果を招くこともある。

このように、環境や主体間の相互作用を考慮する必要がある現象のシミュレーションには、マルチエージェントシステム (Multi Agent Systems, 以下 MAS と記す) による人口社会モデルが有用である。MAS では、一定のルールに基づいて自律的に行動するエージェントを規定し、エージェント相互およびエージェントと環境の相互作用の結果創発される群としての振る舞いを観察することで、現象特性を明らかにし、課題の発見や問題解決に繋げることができる。

本研究は、秋田高専で検討している送迎車両の学校敷地内への乗り入れ許可が与える影響を検

討することを目的として、MAS により学校敷地内における歩車混合交通モデルを構築し、シミュレーション実験を行うものである。

## 2. 本研究の位置付け

兼田ら<sup>1)</sup>は複合商業施設内の回遊行動シミュレーションを開発し、目的地移動機能を有する自律的歩行者エージェントをモデル化した。しかし、空間をセル空間表現で表しているため、車などの他のエージェントを表すのが困難であった。一方、藤井ら<sup>2)</sup>は MAS を利用して知的マルチエージェント交通流シミュレータ MATES に歩行者と自動車の相互作用ルールを実装し、交通流を精度よく再現できることを実証した。しかし、視野内の表現に現実と異なる点があり、適用対象も交差点部に限られている。

これらの既往研究に対して、本研究では連続空間表現を用いることで学校敷地内の歩車混合交通を表現するとともに、過去の歩行者交通研究の知見をもとに適切な歩行者モデルの検討を行った点に新規性がある。

### 3. 現地調査の実施

対象範囲の基本的な交通状況を把握するため、現地調査を行った。秋田高専科学技術棟の屋上から校門付近のビデオ調査により各経路の交通量・錯綜状況を把握した。なお、調査は交通手段が徒歩と自動車に限定される積雪期の通勤・通学時間帯である2017年1月16日7:47～8:56に行った。撮影した映像を用いて、交通手段毎に校門の通過位置と移動方向を1分間隔で集計した。調査対象エリアおよび校門の通過位置と移動方向は図-1の通りである。



図-1 調査対象

	大講義室		正面玄関	学生課	低学年棟	合計	
校門通過位置	歩(人)	車(台)	歩(人)	歩(人)	歩(人)	歩(人)	車(台)
1	1	20	56	11	51	119	20
2	1	65	5	9	96	111	65
3	0	0	0	5	22	27	0
4	0	0	5	6	58	69	0
計	2	85	66	31	227	326	85

表-1 交通量現地調査結果

表-1 に歩行者と車の経路ごとの交通量集計結果を示す。本研究ではこの交通量に従い歩行者・車を生成する。

### 4. シミュレーションの基本設定

本研究で開発した歩車混合交通モデルは MAS プラットフォームの artisoc 4.0 上で実装した。シミュレーション空間は二次元連続空間で表現し、左下が原点、横軸が x 軸、縦軸が y 軸である。時間スケールは1ステップ 0.5 秒とした。

### 5. 歩行者モデルの概要

歩行者モデルは、基本的に連続空間表現により歩行者行動を表し、歩行経路でのみネットワーク表現を用いるものとする。歩行者エージェントの行動アルゴリズムは①経路取得②歩行者行動ルール群③目標更新からなる(図-2)。

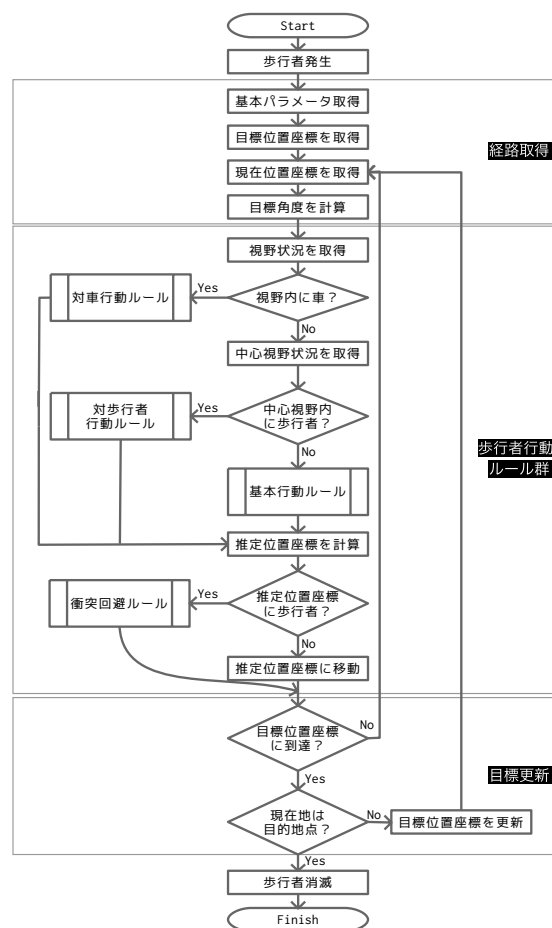


図-2 歩行者エージェントのアルゴリズム

#### 5.1. 歩行経路

兼田らが開発した ASPF は発生地点と目的地点の間の空間に経路通過地点(Waypoint)を配置した<sup>1)</sup>。

本モデルも同様に Waypoint を配置し、歩行者エージェントはその Waypoint を目標位置座標とするものとする。歩行者は通勤・通学といった正確なメンタルマップを持つ行動をする場合は、無駄がなく合理的行動となる。よって、Waypoint は現地調査結果をもとに目的地点と発生地点の最短距離上付近に配置した。歩行者エージェントは出

発地点から目的地点までの Waypoint のリストを基本パラメータとして参照して、現在までに到達している Waypoint の数から、次に向かうべき Waypoint を決定する。

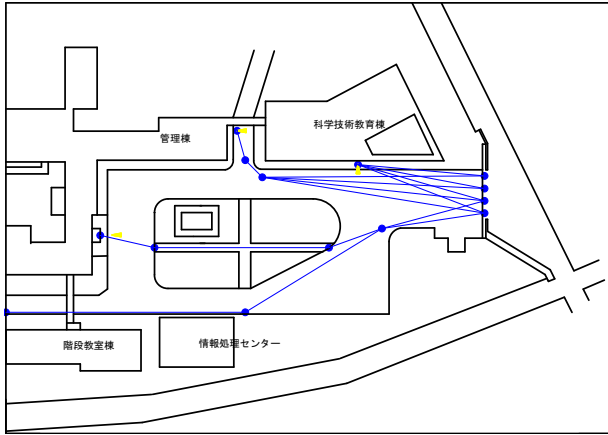


図-3 シミュレーション空間および歩行者  
Waypoint

## 5.2. 歩行者エージェント基本パラメータ

本モデルでは、基本的に連続空間表現により歩行者行動を表し、経路選択でのみネットワーク表現を用いるものとする。なお、各歩行者エージェントの基本パラメータは以下の通りである。人体直径  $D$  [m]、パーソナルスペース距離  $c$  [m]、現在位置座標  $p_0 = (x_0, y_0)$ 、目標位置座標  $p_i = (x_i, y_i)$ 、Waypoint リスト  $W = [p_1 \ p_2 \ \dots \ p_i \ \dots \ p_n]$ 、固有巡航速度  $v_0$  [m/sec]

### 1) 人体直径 $D$ とパーソナルスペース距離 $c$

一般に、歩行者をモデル化する場合には人体断面を三角形や円、楕円などで表現する。Fruin<sup>3)</sup>は、楕円の長軸、短軸を人体の肩幅と厚みの寸法で表現した人体楕円を提案している。本研究では、モデルを単純化するために、歩行者の体を円（人体円）で表現することとし、人体直径  $D$  は Fruin による人体楕円の長軸である肩幅の寸法  $D = 0.60\text{m}$  とする。また、歩行者同士が完全に触れ合う状態を回避するためにパーソナルスペースを保有するものとし、パーソナルスペース距離  $c$  は Hall<sup>4)</sup>の密接距離の近接相を用いて  $c = 0.15\text{m}$  とする（図-4）。

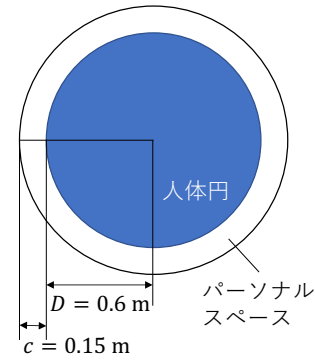


図-4 人体円・パーソナルスペース

### 2) 目標角度 $\theta_0$

各歩行者は目標位置座標を目指して移動する。この、自身の現在位置座標と目標位置座標を結ぶ線分が  $x$  軸となす角を目標角度  $\theta_0$  [°] とする（図-4）。他エージェントや環境との相互作用を受けない限り、歩行者はこの目標角度  $\theta_0$  で歩行する。

### 3) 固有巡航速度 $v_0$

歩行者は、周囲の障害物等の影響によって加速・減速を繰り返しながら歩行している。しかし、周囲の障害物などから物理的・心理的影響を受けることがない場合には、歩行者自身の最も歩きやすい速度で歩行する。このような歩行速度を固有巡航速度  $v_0$  とする。Henderson の実測研究によると、固有巡航速度は平均歩行速度  $1.44\text{ m/s}$ 、標準偏差  $0.228\text{ m/s}$  の正規分布に従うため、本研究では、固有巡航速度  $v_0 = 1.44 + \sigma$  とする。ただし、 $\sigma$  は平均  $0$ 、標準偏差  $0.228$  の正規分布に従う乱数とする。

## 5.3. 歩行者エージェントの周辺状況把握

歩行者は、前方にある一定の空間の状況により、回避行動を取ったり、歩行速度を変化させたりする。本研究ではその空間を歩行者エージェントの視野とする。視野の最大距離は Hall<sup>4)</sup>の研究結果に基づき、社会距離の近接相  $S = 3.66\text{m}$  を用いて、各歩行者の中心点から  $3.96\text{m}$  の扇型とし、扇型の中心角は  $170^\circ$  とする（図-5）。特に、この視野の内、中心線からパーソナルスペース距離の幅の内側を中心視野とする。本モデルの歩行者は、視野からのみ周囲の状況を把握する。

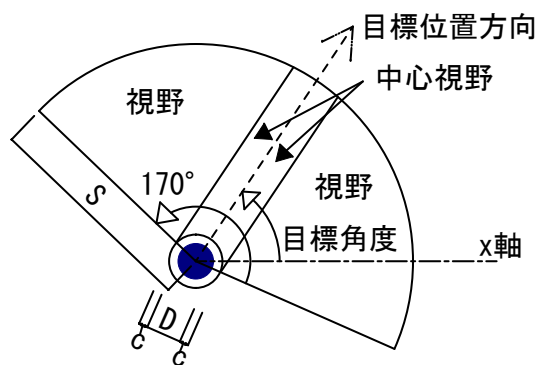


図-5 目標角度・視野

#### 5.4. 歩行者エージェント行動ルール

##### 1) 基本行動ルール

視野内に車がないかつ隣人エージェントがいないときの行動ルール. 目的地角度 $\theta_0$ , 固有巡航速度 $v_0$ で歩行する.

##### 2) 対人行動ルール

自身の中心視野内にいる歩行者エージェントのうち, 最も自身との距離が近いエージェントを隣人エージェントとする. 視野内に車がないかつ隣人エージェントがいるときの行動ルール. 各歩行者の視野内に, 自身を含め 8 人以下の歩行者がいるときを低密度歩行状態とし, 周囲の群衆密度と隣人エージェントとの相対速度の大きさによって, 追い越し行動ルールと追従行動ルールにわけ.

- 追い越し行動ルール: 低密度歩行状態かつ隣人エージェントとの相対速度が $0.114 \text{ m/s}$ 以上のときの行動ルール. 自身のパーソナルスペース距離を含む直径 $0.9\text{m}$ からなる円と隣人エージェントの直径 $0.6\text{m}$ からなる円の接線と平行になる角度を歩行角度 $\theta$ とし, 歩行速度 $v$ は自身の固有巡航速度 $v_0$ に従う.
- 追従行動ルール: 高密度歩行状態または隣人エージェントとの相対速度が  $0.114[\text{m/sec}]$ 未満のときの行動ルール. 歩行角度 $\theta$ は目的地角度 $\theta_0$ に従う. 歩行速度 $v$ は隣人エージェントとの距離により変化し, Hall の研究結果に基づき, 個人距離の近接相  $1.21\text{m}$  より近いときは隣人エージェントの歩行速度の  $0.6$  倍の速度を歩行速度とし, それより遠いときは隣

人エージェントの歩行速度を自身の歩行速度とする.

##### 3) 対車行動ルール

視野内に車がいるときの行動ルール. 自分が車の側面・前方のどこにいるのかによって行動ルールをわけ.

- 対車側面ルール: 車の側面との距離が $2\text{m}$ 以下になったときの行動ルール. 車の進行方向と逆方向を歩行角度とし, 歩行速度 $v$ は固有巡航速度 $v_0$ に従う.
- 対車前面ルール: 車の前面の中央との距離が $3\text{m}$ 以内になったときの行動ルール. 自身のパーソナルスペース距離を含む直径 $0.9\text{m}$ からなる円と, 車の前面の中央を中心とする直径 $6\text{m}$ の円の接線と平行になる角度を歩行角度 $\theta$ とし, 歩行速度 $v$ は自身の固有巡航速度 $v_0$ に従う.

##### 4) 衝突回避ルール

現在の歩行角度と歩行速度から次ステップの推定位置座標を計算する. その地点に歩行者がいる場合のルールを衝突回避ルールとする. 自身のパーソナルスペース距離を含む直径 $0.9\text{m}$ からなる円と推定位置座標にいる歩行者の直径 $0.6\text{m}$ からなる円の接線と平行になる角度を歩行角度 $\theta$ とし, もしその座標にも歩行者がいる場合は, 歩行速度 $v = 0$ とする.

#### 6. 車モデルの概要

本研究では, 走行経路の異なる通勤車と送迎車の二種類の車モデルを開発し, それら両方を車エージェントとする. 車エージェントは車コアエージェントと車サブエージェントの計 8 つのエージェントによって構成される. 以降に示す行動ルールは全てコアエージェントの行動ルールであり, サブエージェントはコアエージェントとの相対座標が変わらないように移動する.

コアエージェント行動アルゴリズムは①経路取得②移動行動ルール群③目標更新とする (図-6).

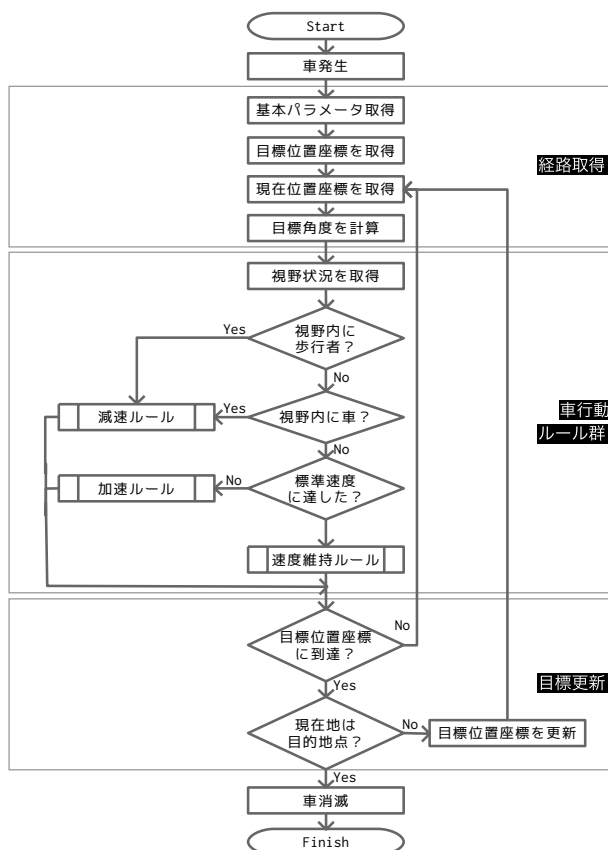


図-6 車エージェントのアルゴリズム

## 6.1. 走行経路

本モデルでは、通勤車と送迎車の二種類の走行経路があり、歩行者同様に Waypoint を配置し、車エージェントはその Waypoint を目標位置座標とするものとする。車エージェントは出発地点から目的地点までの Waypoint のリストを基本パラメータとして参照して、現在までに到達している Waypoint の数から、次に向かうべき Waypoint を決定する。

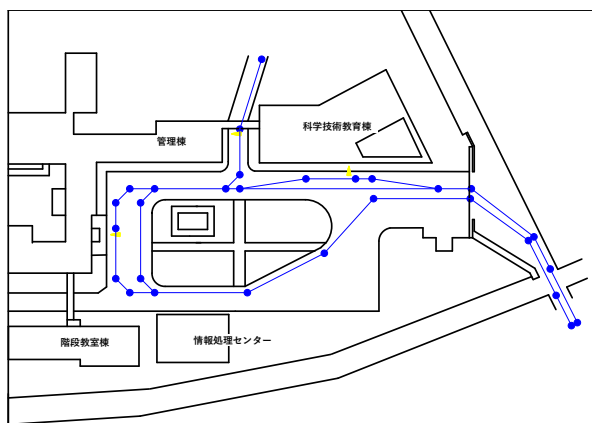


図-7 シミュレーション空間および車 Waypoint

## 6.2. 車エージェント基本パラメータ

### 1) 車体幅

本モデルでは、車の寸法は、長さ4m、幅2mの長方形とする（図-8）。

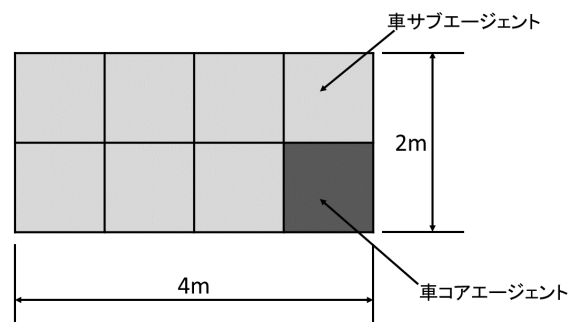


図-8 車体幅

### 2) 標準速度 $V_0$

本校敷地内の制限速度は10 km/hのため、標準速度 $V_0 = 2.78 + \sigma$ [m/s]とする。ただし、 $\sigma$ は平均0、標準偏差0.1の正規分布に従う乱数とする。

## 6.3. 車エージェントの周辺状況把握

車エージェントは視野によって周囲の状況を把握する。視野の大きさは歩行者同様、車コアエージェントの中心点から3.96mの扇型とし、扇型の中心角は170°とする。

## 6.4. 車エージェント行動ルール

### 1) 減速ルール

視野内に歩行者または車がいるときのルール。  
1 ステップ毎に0.74 m/sずつ減速し、その後停止する。

### 2) 加速ルール

視野内に歩行者または車がない、かつ自身の移動速度が標準速度よりも小さいときのルール。  
標準速度に達するまで1ステップ毎に0.74 m/sで加速する。

### 3) 速度維持ルール

視野内に歩行者または車がない、かつ自身の移動速度が標準速度に達しているときのルール。  
そのままの速度で移動する。



## 7. 結果と考察

送迎車両の敷地内乗り入れを認めた場合の影響を検討するためにシミュレーション実験を行った。実験は歩行者が送迎車利用に転換する割合が0%、10%、30%、50%でそれぞれ10回ずつ試行し、エージェント発生数を記録するとともに、渋滞・錯綜状況を観察した。各転換率におけるエージェント発生数の平均値および分担率を表-2に示す。

表-2 転換率とエージェント発生数

転換率	0%			10%		
交通手段	歩行者	通勤車	送迎車	歩行者	通勤車	送迎車
平均発生数	330.6	86.9	0	298.8	81.3	31.5
分担率	79.2%	20.8%	0.0%	72.6%	19.8%	7.7%
転換率	30%			50%		
交通手段	歩行者	通勤車	送迎車	歩行者	通勤車	送迎車
平均発生数	232.7	82.6	98.6	161.8	81.8	165.4
分担率	56.2%	20.0%	23.8%	39.6%	20.0%	40.4%

各転換率における観察結果は以下の通りである。

- 転換率 0%：手段別の平均発生数は表-1に示した現地調査結果と概ね一致する結果となった。
- 転換率 10%：通勤車・送迎車を合わせた（＝車エージェント全体）分担率の合計が27.5%となり、車エージェントの割合が増えたものの、渋滞・錯綜に至るほどではなかった。
- 転換率 30%：車エージェントの分担率が43.8%となり、危険な錯綜が増えた。特に、経過時間が45分～55分の間は特に車エージェントの発生数が多くなり、短い渋滞が目立つようになった。
- 転換率 50%：車エージェントの分担率60.4%と歩行者分担率と逆転した。歩行者発生数が減少したことにより歩車の危険な錯綜は減ったが、慢性的に短い渋滞ができるようになった。1分間に10台を超える、転換率0%の二

倍以上の車が敷地内に進入することもあった。

## 8. おわりに

本研究は、学校敷地内に送迎車両の乗り入れを認めた場合の影響を検討することを目的として、MASによる歩車混合交通モデルの開発を行った。

シミュレーション結果より、送迎車転換率が30%になると危険な錯綜が増え、50%になると慢性的に小さな渋滞が発生することから、明確な交通ルールが定められていない現状のまま学校敷地内に送迎車両の乗り入れを許可することには問題があることが明らかとなった。

今後の課題としては以下の2点が挙げられる。

1. 送迎車両の乗り入れ許可は徒歩通学からの転換を伴うため、学校敷地外の周辺道路への影響を検討する
2. 自転車モデルの開発を行い、非積雪期のシミュレーションを行う

## 謝辞

本研究は株式会社構造計画研究所より artisoc 4.0 standard のアカデミックライセンスの提供を受け実施した。ここに記して感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 兼田敏之：artisoc で始める歩行者エージェントシミュレーション 原理・方法論から安全・賑わい空間のデザイン・マネジメントまで，構造計画研究所，2010
- 2) 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 巻 1 号 2011
- 3) John J. Fruin（著），長島正充（訳）：歩行者の空間－理論とデザイナー，鹿島出版会，1977
- 4) Edward T. Hall（著），日高敏隆（訳），佐藤信行（訳）：かくれた次元，みすず書房，1970