

優先権付き信号を用いた自動運転車の混在率による渋滞への影響

2016SC013 長谷川佑馬 2016SC014 橋本大

指導教員：河野浩之

1 はじめに

渋滞によって国民 1 人あたり年間 40 時間 [3] を損失している。この 40 時間という時間は年間乗車時間の 40% に当たるものであり、人々が渋滞で損失する時間は大きいものである。経済面に関しても、渋滞による経済損失は 12 兆円に上り、この 12 兆円 [4] は日本の年間自動車総輸出額と同等の金額である。環境面に関しても、日本の CO₂ 排出量の内 15.4% が自動車から排出されており、走行速度が 15km/h から 30km/h に向上させると CO₂ 排出量を 30% 抑えられる [2]。渋滞は、経済活動の阻害、交通事故の増加、沿道環境の悪化をもたらす。経済面・環境面においても渋滞によって生じるこれらの問題を解決するためにはリアルタイムの交通量に応じた信号制御の最適化が必要である。渋滞対策は基本的に「交通インフラ側の対策」と「車側の対策」として個々に発展しているのが現状である。

本研究では、ノードとリンクで実在する道路を作成し、自動運転車の混在率を変えて優先権制御により渋滞を減少させることが可能かどうかを検証する。優先権制御の有効性を評価する検証指標として「優先権を付与した自動運転車」と「優先権を持たない人が運転する車」に対して目的地への平均到着台数と平均速度を求める。我々は地図データを OpenStreetMap からダウンロードし、地理情報システム QGIS を用いてシミュレーションを行う道路を作成する。マルチエージェントシミュレータ artisoc を用いて QGIS で作成した道路地図を読み込み、ノードとリンクの CSV ファイルを作成する。ノードとリンクで作成した道路を CSV 形式で artisoc に地図を読み込ませるプログラムおよび信号、車の配置と検証指標、自動運転車に優先権を付与するプログラムを作成する。

本論文は 6 章で構成されている。第 2 章では、信号制御に関する先行研究を紹介する。第 3 章では、第 2 章で取り上げた先行研究を参照して信号制御による渋滞解消の手法についての提案をする。第 4 章では、artisoc を用いて平均速度と目的地への平均到着台数を求めるプログラム及び実験環境の構築について説明する。第 5 章では、実験結果および考察を示す。第 6 章ではむすびを示す。

2 信号制御の先行研究

2 章では、本研究に対する先行研究を紹介する。2.1 節では、マルチエージェントアルゴリズムによる渋滞の未来予測について、2.2 節、では優先権制御による混雑の分散について、2.3 節では、関連研究の比較について述べる。

2.1 マルチエージェントアルゴリズムを用いた信号制御

伊藤ら [1] は、各車両から正確な位置情報を取得して渋滞の未来予測をシミュレーションし、予測された渋滞を避けるために車が経路へ変更した場合、新たな渋滞を引き起こさないようにするための経路変更推薦を提案した。

そこで伊藤らはマルチエージェントアルゴリズムを用いて各車両から収集した予定位置情報を基に正確な位置情報を収集した。VICS 等の交通情報や交通規制に 10 分後の車両位置情報を加え、渋滞予測を可能にした。予測された渋滞を避けるために車がいつせいに空いている経路へ変更した場合、新たな渋滞を引き起こす可能性があることが問題点ある。

2.2 優先権制御を用いた信号制御

佐藤ら [4] は 400 × 200 マスの格子状空間を作成し、片側 1 車線道路において優先権制御によりどのように渋滞を分散させられたか検証した。優先権制御の類似した信号システムとしては GreenWave が挙げられるが、GreenWave の出口付近や対向車線で渋滞が発生しやすいという問題点がある。佐藤らは必要な場所に必要の時だけ GreenWave を発生させるための手法として優先権制御を提案した。

その結果、平均到着台数を 13% 上げることができ、格子状空間の中央付近に集中していた混雑が中央付近から端に混雑が分散している。混雑の分散は単に全体の到着台数を上げるだけでなく、交通事故が起きた時のリスクの分散も大きなメリットとなるため混雑の分散は交通システムの重要項目であるといえる。

2.3 信号制御に関する先行研究の比較

各先行研究の比較を表 1 に示す。伊藤らの研究では、予測された渋滞を避けるために車が経路を変更した後の道路の混雑分布が分からず本当に渋滞が解消されたかが不透明である。佐藤らの優先権制御による渋滞の分散についての研究では、自動運転車の混在率を変更しても優先権制御の有効性を評価できるかどうか検証を行う必要がある。

表 1 信号制御に関する先行研究の比較

先行研究	特徴	改善点
伊藤ら [1]	位置情報を取得し渋滞を予測	車の経路変更に対応が必要
佐藤ら [4]	自動運転車に優先権を付与	自動運転車の混在率を変更して検証

3 優先権付き信号システムを用いた渋滞緩和の提案

3章では、本研究の信号制御の手法の提案を示す。3.1節では、優先権制御の概要について示す。3.2節では、本研究で用いる信号制御の提案について示す。3.3節では、交通シミュレーションツールを比較した上で artisoc を選択した理由について示す。3.4節では、地図データツールである OpenStreetMap について説明する。3.5節では、地理情報システムの概要と GIS ソフトの比較した上で QGIS を選択した理由について示す。

3.1 優先権制御

優先権制御 [4] とは、優先権を持った車が信号に近づくとき信号が青になるというものである。優先権は一定範囲内にある各信号機に並んでいる車両数の最も多い車列に付与させる。優先権制御は車両と信号が通信するので、交通量に応じて信号制御が可能である。

優先権制御のメリットは、目的地までの間の赤信号で停止する回数を減少させることである。また、優先権を持たない車も優先権を持った車と同じ車列と一緒に走行することで同様のメリットを受けることが可能になる。

3.2 優先権制御を用いた信号システムの概要

本節では、優先権制御の概要とノードとリンクで作成した道路で自動運転車に優先権を付与した信号システムのアルゴリズムの概要について説明する。提案アルゴリズムは、佐藤ら [4] の先行研究を基にして構成した。

図 1 に本研究の信号制御システムのアルゴリズムを示す。次の (1) から (8) は図 1 の (1) から (8) と対応している。佐藤らは、格子状空間で実験を行ったが、本研究ではノードとリンクで作成した道路で自動運転車の混在率の割合を様々に変えた状況で実験を行う。

- (1) OSM から本研究に用いる地図データをダウンロードし、道路情報を抽出する。
- (2) 道路をリンクとノードで表現するための CSV ファイルを作成する。
- (3) artisoc に CSV ファイルを出力させるプログラムを作成する。
- (4) 信号機の設置、車両の走行ルート、自動運転者と人が運転する車を区別するプログラムを作成する。
- (5) 自動運転車に優先権の付与と優先権を持つ車両が近づくとき信号を赤から青に変えるプログラムを作成する。
- (6) シミュレーションを行う Step 数を入力する。
- (7) シミュレーションを実行する。
- (8) 500Step ごとに目的地への平均到着台数、平均速度、混雑状況を出力する。

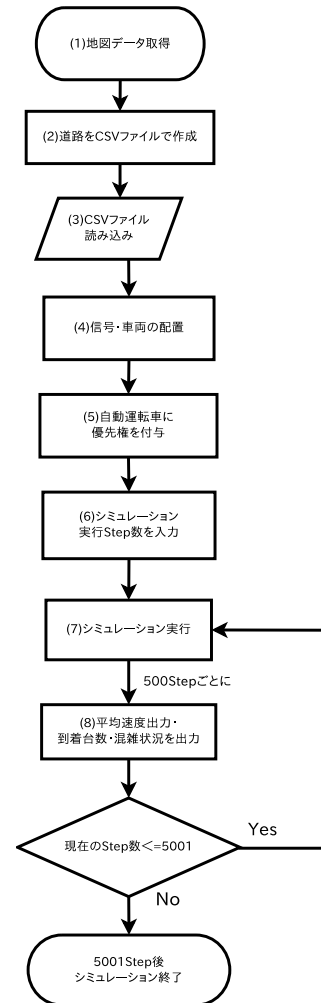


図 1 信号制御手法のアルゴリズム

3.3 交通シミュレーションツール artisoc

交通シミュレーションツールには、artisoc, AVENUE 等が存在する。AVENUE は、有償であり、OS は Windows のみに対応し、モデル構築の言語は Java を用いる。artisoc は教育向けの方へは無償で使用できる。また、OS に依存しないため使用するパソコンを選ばない。artisoc でモデルを構築する際は、artisoc が用意するコマンドを覚える必要があるが、習得のための敷居は C++ や Java を習得するほど高くはない。

本研究では、artisoc を使用して人が運転する車と自動運転車の両方に優先権を付与した道路における混雑分布を検証し優先権制御の有効性を評価する。

3.4 地図データ OpenStreetMap

OSM は道路地図などの地理情報データを誰でも利用できるフリーの地理情報データを作成することを目的としたプロジェクトである。全世界の全都市に対応しており、地図の編集者は 150 万人を超えている。また、OSM は利用者拡大に伴い情報量も増加する特性を持っている。QGIS との連帯可能で形式は osm ファイルに対応している。

地理院地図は、地形図、写真、標高、地形分類など、国土地理院が捉えた日本の国土の様子を発信する Web 地図である。国土地理院が整備する様々な地理空間情報を閲覧できるほか、地形図や写真などを 3D 表示にして閲覧することもでき、各地図を重ね合わせて表示することもできる。

3.5 地理情報システム QGIS

地理情報システム (GIS) とは、地理学と情報技術を融合したもので、事物に位置情報や属性を付与して地理空間上で表現・分析を可能とするシステムである。

ArcGIS は有料のソフトで、誰もが地理情報を取得、作成、共有、解析および配布することができる統合プラットフォームである。QGIS は無料のフリーソフトで、地理情報システムの閲覧、編集、分析することができる。また、OS に依存しないクロスプラットフォームである。無料でありながら上記の ArcGIS に近い機能と操作性を備えているのが特徴である。本研究では、無料であり ArcGIS に近い機能を持つ高性能な QGIS を使用する。

4 artisoc で実装する実験環境の構築

4 章では、artisoc で実装する平均速度と目的地への平均到着台数を求めるプログラム及び実験環境の構築について説明する。4.1 節では、本研究に用いるノードとリンクを用いた道路情報について説明する。4.2 節では、自動運転車と人が運転する車のそれぞれの機能特性と信号制御要素の設定について説明する。4.3 節では、本研究での検証指標を求めるプログラムを示す。

4.1 実験に用いる道路情報

佐藤らの先行研究ではノードとリンクを用いることなく 400 × 200 マスの格子状空間で実験を行ったが、本研究ではノードとリンクを用いて道路を作成し、リンク上を走行させた。ノードとリンクを用いることで斜め方向にも車を走らせることができる。

本研究のシミュレーションで作成する地図は、愛知県名古屋市中区東区矢田南 4 丁目にある県道 15 号名古屋多治見線と名古屋環状線が交わる交差点とその周辺道路である。この道路は愛知県の一般道路における渋滞の主要箇所であることから渋滞緩和を目的とした優先権の有効性を検証するのに実用的である。

4.2 車両の機能特性と信号制御要素の設定

本節では自動運転車および人が運転する車の機能特性と信号制御の 3 要素であるサイクル、スプリット、オフセットの設定について説明する。本研究の車エージェントは「自動運転車」と「人が運転する車」の 2 種類車が存在する。自動運転車は国が定める尺度で 5 段階に分けられるが、本研究では自動運転車を一意に定義し、人が運転する車と明確に見分けるための機能特性を定義したものを表 2 に示す。車両はシミュレーション開始時に目的となるノードをランダムに設定し目的地に向かい、到着すると再びランダムに

目的地となるノードを設定する。本研究では、信号機の点灯色は青と赤の 2 種類のみとし、1 サイクルを 160step、スプリットを東西方向が 6 割、南北方向が 4 割、オフセットは 0 に設定している。

表 2 車両の機能特性

	自動運転車	人が運転する車
最高速度 (km/h)	50	50
加速度 (m/s ²)	11	8.8~13.2
優先権	扱える	扱えない
表示色	黒	水色

4.3 検証指標の構築

本研究では優先権制御の有効性を検証するために平均速度、目的地への平均到着台数、混雑状況の 3 つを検証指標とし、500Step ごとに出力させる。本研究では、5001Step でシミュレーションが終了するため、1 度のシミュレーションで 10 回出力される。10 個のデータの平均を取り、平均速度と平均到着台数を求める。図 2 に [4] を基に構成した平均速度を求めるプログラムを示す。本説中の (1) と (2) は図 2 の (1) と (2) に対応している。

- (1) 自動運転車と人が運転する車の速度と台数を求める。
- (2) 自動運転車と人が運転する車の平均速度を求める。

```

(1) for i = 0 to (CountAgt (Universe.Map.Car
-1) step 1
  IF Universe.Map.Car(i).Type==Auto Then
    SumSpeedAV=SumSpeedAV+Universe.Map.Car
(i).Speed
    CountAV=CountAV+1
  Else
    SumSpeedMV=SumSpeedMV+Universe.Map.Car
(i).Speed
    CountMV=CountMV+1
  End IF
next i
(2) IF CountAV>0 Then
  Universe.AveSpeedAV=SumSpeedAV/CountAV
End IF
IF CountMV>0 Then
  Universe.AveSpeedMV=SumSpeedMV/CountMV
End IF

```

図 2 平均速度を求めるプログラム

図 3 に [4] を基に構成した到着台数を求めるプログラムを示す。本説中の (1) から (3) は図 3 の (1) から (3) に対応している。

- (1) 到着台数を求めるノードの座標を入力。
- (2) 目標のノードに到着したら到着台数をカウントする。
- (3) 500Step ごとに到着台数を出力する。

```

(1) If (My.X>149 And My.Y>35 Or My.X<28 And
    My.Y<33 Or My.X>96 And
    My.Y<2 Or (111<My.X And My.X<113) And
    My.Y>53) Then
(2) Universe.DelCount=Universe.DelCount+1
    End IF
(3) If CountStep Mod 500==0 Then
    Universe.DisplayDel=Universe.DelCount
    End If

```

図3 到着台数を求めるプログラム

5 自動運転車に優先権制御を用いた実験結果

5章では、実験条件の説明と実験結果および考察を示す。5.1節では、実験条件を示す。5.2節では、実験結果を示す。5.3節では考察を示す。

5.1 実験条件

本研究の目的は「優先権制御の有効性の検証」である。そこで優先権制御の有効性を検証するために「優先権制御無し」と「優先権制御有り」の2パターンで実験を行った。その際の実験条件を表3に示す。本研究の1マスは5.5m、1Stepは0.5秒に相当する。また、本研究での車エージェントは最西端のノードで他のノードより2倍多く発生させる場合で実験を行う。表3の車の台数はノード上を走行する最大の車の台数を示している。

表3 実験条件

空間	100×150 マス
自動運転車の混在率	50%~80%
車の台数	30 台
シミュレーションの Step 数	5001Step
目的地の偏り	有り

5.2 実験結果

本説では、自動運転車の各混在率において求めた平均速度・平均到着台数の結果を示す。優先権無い場合の場合の実験結果を表4に示す。優先権が有る場合の実験結果を表5に示す。

表4 優先権が無い場合の実験結果

混在率	平均到着台数	自動運転車の平均速度	人が運転する車の平均速度
50%	74 台	20.6(km/h)	19.4(km/h)
60%	75 台	21.8(km/h)	20.5(km/h)
70%	82 台	21.9(km/h)	18.8(km/h)
80%	89 台	25.5(km/h)	21.7(km/h)

表5 優先権が有る場合の実験結果

混在率	平均到着台数	自動運転車の平均速度	人が運転する車の平均速度
50%	95 台	24.1(km/h)	23.6(km/h)
60%	98 台	24.8(km/h)	22.0(km/h)
70%	101 台	27.2(km/h)	23.2(km/h)
80%	106 台	28.0(km/h)	23.2(km/h)

5.3 考察

自動運転車の混在率が50%の時に於いて、優先権制御を用いると自動運転車の平均速度は17%向上、人が運転する車の平均速度は21%向上し、平均到着台数は28%向上した。自動運転車の混在率が80%の時に於いて、優先権制御を用いると自動運転車の平均速度は9%向上、人が運転する車の平均速度は10%向上し、平均到着台数は19%向上した。自動運転車の混在率が高くなるほど、検証指標が大きくなっていくことが分かった。これは、より多くの車が優先権を持ったからだと考えられる。人が運転する車が優先権を持つ自動運転車に挟まれた時、赤信号の回数を減らすことができるため、人が運転する車の速度も向上した。

6 むすび

本研究では、ノードとリンクで作成した道路において自動運転車に優先権を付与した優先権制御により渋滞を解消できるかどうかを検証した。優先権制御の有効性を検証するために「目的地への平均到着台数」、「平均速度」に着目しを出力させた。実験の結果、優先権を付与した場合の方が優先権を付与しない場合と比べてより多くの車を目的地にたどり着かせることができ、平均速度も向上させることができた。これらより、優先権制御の有効性を示すことができた。また、米ピッツバーグ (URL:<https://wirelesswire.jp>) のAI信号機導入による実験で、信号制御を用いて交通渋滞を大幅に緩和させている。よって信号制御を用いることで実際に渋滞が緩和できる可能性がある。

参考文献

- [1] 伊藤孝行, 田中雅章, “車両間メカニズムに基づく渋滞解消シミュレーションとその応用,” 情報処理学会第77回全国大会, pp. 79-80, 2015.
- [2] 国土交通省, “渋滞の現状と施策対策,” <http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/tdm/Top03-01-01.html>, 参照 Jan 6, 2020.
- [3] 国土交通省, “基本方針に関わるデータ,” <http://www.mlit.go.jp/common/001098855.pdf>, 参照 Jan 6, 2020.
- [4] 佐藤 鈺, イヴァン・タネブ, 下原勝憲, “IoTを用いた新しい交通信号システム,” 構造計画研究所第19回MASコンペディション, pp. 1-5, 2019.