

# マルチエージェントモデルによる車両種別を考慮した動的信号機制御システムの提案と実装

## Multi-Agent Dynamic Traffic Signal Control System Considering Vehicle Types

林 健<sup>1\*</sup> 井原 史渡<sup>1</sup> 山田 悠司<sup>2</sup> 藤森 立<sup>2</sup> 須賀 聖<sup>2</sup> 栗原 聡<sup>1</sup>

Ken Hayashi<sup>1</sup>, Fumito Ihara<sup>1</sup>, Yuji Yamada<sup>2</sup>, Ryu Fujimori<sup>2</sup>, Satoshi Suga<sup>2</sup> and Satoshi Kurihara<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 慶應義塾大学理工学部

<sup>1</sup> Faculty of Science and Technology, Keio University

<sup>2</sup> 慶應義塾大学大学院理工学研究科

<sup>2</sup> Graduate School of Science and Technology, Keio University

**Abstract:** 我々は交通渋滞の解消を目的に新たな信号制御手法の開発を行っている。具体的には先行研究で提案されたばねモデルを基にした制御手法に対して、大型車両と普通車両の車両種別による違いを考慮したモデルへと拡張することで、交通流がより円滑になることを確認した。加えて、計画されている実証実験に向け、提案手法の物理的な分散化処理を施し、シミュレーション上で適切に動作することを確認し、実証実験への準備を進めた。

### 1 はじめに

本研究は、交通信号機を適切に制御し渋滞を解消するなど交通流の円滑化を図ることが目的である。交通渋滞は交通道路利用者の時間を無駄にする事による経済的損失だけでなく、排気ガスの増加による大気汚染や交通事故の増加など様々な問題を引き起こすため、世界中の都市部などで深刻な問題とされている。都市部の交通渋滞を解消するために、渋滞の一因となっている交差点において、信号機を適切なパラメータを用いて操作する必要がある。しかし交通流は朝夕のラッシュ時と昼や夜間、休日など、時間や日によって大きく変化する。そのため信号機の制御パラメータを交通流に応じて、動的に変化させることは交通流の円滑化に欠かせない。

現在日本では大きく二つの信号機制御システムが存在する。一つ目は予め設定した制御パラメータを用いて制御する方法である。この方法では事前に測定した交通流パターンに対応させパラメータを算出するため、事前に測定された交通流パターンと同様の交通流の場合には制御の効果が見込めるが、突発的な事故や災害などに対応することは困難である。二つ目は交通管制システムという集中制御方式を用いた方法である。この方法では交通道路に設置された感知器等から得られる交通情報を元に、交通管制センターで適切なパラメータを設定する。日本

においてこの手法の一つである MODERATO[1] が主要交差点の信号機制御に導入されている。MODERATOをはじめとした集中制御は前者に比べ渋滞緩和の効果は大きくなることが期待されるが、交通情報を信号制御に反映するまでに 10 分程度の時間がかかり、やはり突発的な事故や災害など動的に変化する交通状況への即応性は低くなる。また制御エリアを手動で設定する必要があり、エリアの拡大縮小などの柔軟性にも欠けるうえ、制御範囲が広くなれば当然計算コストが増大するという問題点がある。

これに対し、即応性が高く、柔軟に制御エリアを変えることができる自律分散信号制御システムが多く提案されている。このシステムは個々の信号機が局所的な情報を用いて自律的に信号機制御パラメータを変更するシステムであり、マルチエージェント強化学習を用いた手法 [2, 3] や非線形結合振動子を用いた手法 [4] など多様な方法が提案されている。しかしこれらの方法は、計算コストや通信コストが高い点や、一定の条件下の交差点のみに対応している点など実際に導入するのに障害が多く存在する。そこで我々は計算コストと通信コストを抑えたより現実的で即応性の高い信号制御モデルを提案している。これは各交差点の信号機にパラメータを制御する自律エージェントを配置し、エージェント同士が協調することにより、効果的に各交差点同士が連携して自律分散的に信号機制御を行うマルチエージェントモデルである。小中ら [5] は、ばねモデルを用いてスプリットを制御する各交差点エージェン

\*連絡先：慶應義塾大学理工学部  
〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1  
E-mail: kenhayashi@keio.jp

トに隣接交差点同士が連携して自律分散的に信号機制御を行うマルチエージェントモデルを提案し、低い計算コストと通信コストで即応性の高い制御システムを構築した。これに対し大野ら [6] は、ばねモデルを改良し五差路や右折専用レーンにも対応した動的な信号機制御モデルを提案し、より複雑な交差点への対応を可能とした。これらの研究により、このモデルを実世界で用いる環境に大きく近づいたと言える。そのため本研究では実証実験を行うことを想定し、物理的な分散化作業を行い、適切にモデルが動くことを検証する。またこれまでの研究では考慮されていなかった、大型車両と普通車両などの車両種別を考慮したモデルも提案する。

## 2 交通信号機制御

交通信号機制御では、現示を切り替えるパラメータを制御することで交通流の円滑化を図る。「現示」とは1つの交差点において、歩行者も含むある一組の交通流に対して同時に与えられている通行権、またはその通行権が割り当てられている時間帯のことをいう。そして、現示を切り替える信号制御パラメータには「サイクル長」(現示が一巡する時間)、「スプリット」(現示開始から次の現示が始まるまでの時間の長さのサイクル長に対する割合)、「オフセット」(隣接する交差点を相互に連動させて制御(系統制御)するために、信号表示のタイミングを取るための信号制御パラメータ)がある。本研究ではこの3つのパラメータの内、スプリットを制御することにより交通流の円滑化を図る。

## 3 提案手法

本研究では各交差点同士が連携して自律分散的に信号機制御を行うマルチエージェントモデルを提案する。これは各信号機が自律エージェントを配置し、それぞれのエージェントが自交差点の信号制御パラメータを決めることで環境全体の最適化を図るものである。各エージェントは自交差点の信号機のスプリットを制御する。その手法として大野らが提案しているスプリット制御 [6] を基に、車両種別を考慮する改良を加えている。また本研究では実証実験を行うことを想定し、複数エージェントを物理的に分散化させ、適切にモデルが動くことも検証する。

ここで本研究において各エージェントは自交差点について以下の情報を把握できるものとする。

- 自交差点  $i$  に設置されている信号機のサイクル長  $c_i$ 、スプリット  $s$ 、青信号開始時間  $T_i$ 、相対オフセット

- 自交差点の現示数とそれぞれの現示に対応する方向
- 自交差点の各方向の右折レーンの有無
- 各方向のレーン数
- 隣接交差点  $j$  とその交差点間距離  $l_{(i,j)}$

また各エージェントは自交差点の全ての方向についている電波レーダーよりセンサー範囲内の以下の車両情報を取得できるものとする。

- 他の車両と区別することができる id
- 車両が存在する車線
- 車両の速度
- 車両の長さ

さらにデータベースとの通信により以下の隣接交差点の情報を取得できるものとする。

- 隣接交差点  $j$  の車流入総数  $P_j$
- 隣接交差点  $j$  との間の道路における交通量から算出したオフセット値  $O_{(j,i)}$
- 隣接交差点  $j$  に設置されている信号機のばねモデルにより算出される変異  $x$ 、青時間開始時間  $T_j$ 、相対オフセット

### 3.1 交通シミュレータ

本研究においては交通シミュレータ SUMO(Simulation of Urban MObility) を用いてシミュレーションを行う。SUMO とはドイツ航空宇宙センターの交通システム研究所(DLR)が中心となって開発しているオープンソースの交通シミュレータであり、2002年にオープンソースがリリースされてから様々な機能が追加されている。本研究で使っている主な機能は以下の通りである。

- 道路ネットワークの作成
- 車両のルートの作成
- シミュレーション
- オンライン接続

本実験で電波レーダから得られる情報の代わりに、SUMO から同様の情報を得て、信号機制御を行っている。

### 3.2 交差点毎のスプリット制御

各交差点に配置されたエージェントは、自交差点の交通量をばねモデルの釣り合いの式に適用することで一サイクル毎にスプリットを計算する。本モデルは大野らのばねモデル [6] を基にしており、本手法の新規の部分は 3.2.1 項にて説明する。

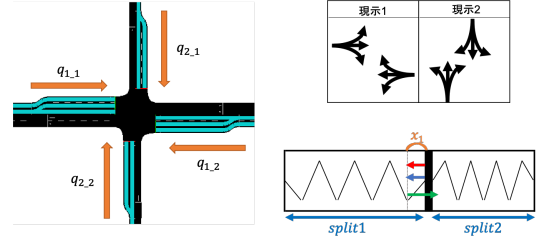


図 1: 二現示交差点によるばねモデルの概略図

#### 3.2.1 交通量の定義

本手法では各方向からの交通量  $q$  をスプリット値の計算に用いることからはじめにこれを定義する。交通量は基本的に流入数に各現示の終わりに残った車両の台数を加えたものとしている。これを式に表すと以下のようなになる。

$$q = \frac{n_{inflow}}{n_{lane}} + a \frac{n_{res}}{n_{lane}} \quad (1)$$

この時  $n_{inflow}$  が流入数,  $n_{res}$  が捌け残り台数,  $n_{lane}$  がレーン数である。  $a$  は 1 より大きい定数にすることで、捌け残り台数が多いほどこの項が指数的に大きくなる。ここで用いられる  $n_{inflow}$  は以下のように定義している。

$$n_{inflow} = n_{all\_inflow} + \alpha n_{large\_inflow} \quad (2)$$

$n_{all\_inflow}$  は全ての車両の流入数,  $n_{large\_inflow}$  は大型車両のみの流入数とする。また同様に  $n_{res}$  は以下のように定義される。

$$n_{res} = n_{all\_res} + \alpha n_{large\_res} \quad (3)$$

同様に  $n_{all\_res}$  は全ての車両の,  $n_{large\_res}$  は大型車両のみの現示終了後の捌け残り台数とする。なお大型車両と一般車両の区別にはセンサから得られる車両の長さを用いている。今回は車両の長さが 5m 以上の場合大型車, 5m 未満の場合一般車両という区別をしている。これらの定義は大型車両を一般車両の  $1 + \alpha$  倍カウントすることにより、大型車の車両の長さや加速度の遅さによって一般車両よりも渋滞を引き起こす影響が大きいことを考慮することができている。

#### 3.2.2 スプリット計算

二現示交差点によるばねモデルの概略図を図 1 に示す。二現示の交差点の場合、図 1 のように二つのばねをつなげたモデルを想定し、現示 1 と現示 2 のスプリット値をそれぞれ  $split1$ ,  $split2$  とする。また現示 1 の交通量と現示 2 の交通量の差  $d_1$  は以下のように定義する。

$$d_1 = \frac{\max_i(q_{1,i}) - \max_j(q_{2,j})}{\max_i(q_{1,i}) + \max_j(q_{2,j})} \quad (4)$$

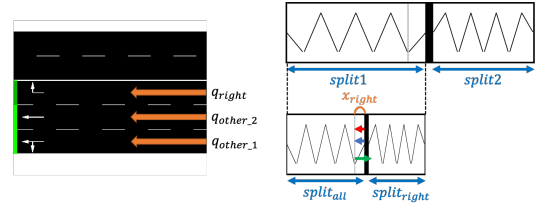


図 2: 右折専用現示を考慮したばねモデルの概略図

この時現示 1 のばねが及ぼす力, 現示 2 のばねが及ぼす力, 交通量の差が及ぼす力が釣り合って、ばねの変位が  $x_1$  となるとところで状態を保っている。ばね定数を  $k$  とすると  $x_1$  は以下のように表される。

$$x_1 = \frac{d_1}{2k} \quad (5)$$

したがって  $split1$  と  $split2$  はそれぞれ以下のように求めることができる。

$$split1 = \frac{1}{2} + \frac{d_1}{2k} \quad (6)$$

$$split2 = \frac{1}{2} - \frac{d_1}{2k} \quad (7)$$

この結果得られた各スプリットの値は下限値が 0.1 になるよう調節する。また現示数が増えてもばねの数を増やし、同様の計算を行うことによりそれぞれのスプリットを求めることができる。

#### 3.2.3 右折専用現示がある場合

右折専用現示のスプリットを決めるばねモデルの概略図を図 2 に示す。

右折専用現示がある場合、図 2 のように 3.2.2 項で求めたスプリットの中に全方向が青となる現示と右折のみ青となる現示のばねをつなげたモデルを想定し、全方向青の現示, 右折専用現示の割合をそれぞれ  $split_{all}$ ,  $split_{right}$  とする。また左折直進レーンと右折レーンの待ち台数の差  $d_{right}$  は以下のように定義している。

$$d_{right} = \frac{\max_i(q_{other,i}) - q_{right}}{\max_i(q_{other,i}) + q_{right}} \quad (8)$$

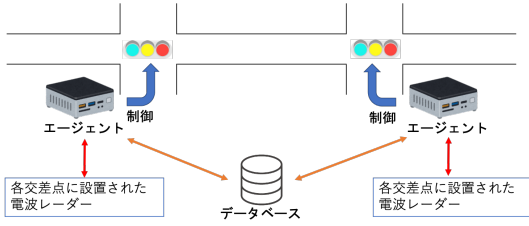


図 3: 実証実験の概要図

この時全方向青の現示のばねが及ぼす力、右折専用現示のばねが及ぼす力、交通量の差が及ぼす力が釣り合っており、ばねの変位が  $x_{right}$  となるところで状態を保っている。ばね定数を  $k$  とすると  $x_{right}$  は以下のように表される。

$$x_{right} = \frac{d_{right}}{2k} \quad (9)$$

したがって  $split_{all}$  と  $split_{right}$  はそれぞれ以下のよう求めることができる。

$$split_{all} = \frac{1}{2} + \frac{d_{right}}{2k} \quad (10)$$

$$split_{right} = \frac{1}{2} - \frac{d_{right}}{2k} \quad (11)$$

この結果得られた  $split_{all}$ ,  $split_{right}$  は下限値が 0.1 になるよう調節する。

### 3.3 物理的な分散化

3.2 節で説明した本手法の実証実験を行うことを想定し、各交差点エージェントを物理的に分散化しシミュレーションを実施する。実証実験を行う際の各エージェント、信号機、電波レーダーとデータベースの関係を図 3 に示す。

図中の赤の矢印は電波レーダーから得ることができるセンサー範囲内の車両情報のやりとりを示し、橙の矢印はデータベースとの通信により得ることができる隣接交差点の情報のやりとりを示している。しかし大野らの先行研究 [6] や本研究では電波レーダーがないため車両情報を取得することができないので、3.1 節で前述した SUMO のオンライン接続の機能を用いて、車両情報を SUMO サーバーから取得してシミュレーションを行う。このシミュレーション実験での概要図を図 4 に示す。

大野らの先行研究 [6] では図 4 に示す各エージェント、データベース、SUMO は全て一台の PC の中で動作をしていた。しかし本研究では電波レーダーがない中で

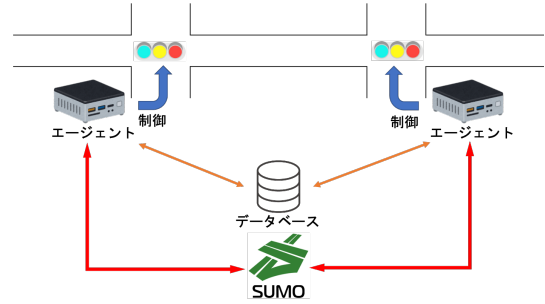


図 4: シミュレーション実験の概要図

もより実証実験に近い環境での動作を確認するために、各エージェントと SUMO の物理的な分離を行った。

このシステムでは以下の順序にしたがってシミュレーションを行う。

#### 1. SUMO サーバーの設置

1 台目の PC にて SUMO サーバーを立ち上げる。

#### 2. DB の設置

DB を設置する。

#### 3. 各エージェントの接続

各エージェントの役割をする PC より SUMO サーバーの設置を行った PC の IP アドレスとポート番号を指定することで SUMO サーバーに接続する。

#### 4. シミュレーションの開始

全てのエージェントを SUMO サーバーに接続し、シミュレーションがスタートする。

以上の手順によりシミュレーションを行うため、必要な PC の台数は交差点数+1 となる。

## 4 車両種別差考慮に関する評価実験

この実験では 3.2 節で述べた、車両種別を考慮したスプリット制御手法の評価を行う。

### 4.1 実験概要

#### 4.1.1 実験設定

全実験での共通設定として、黄信号時間と赤信号時間は 3step, サイクル長は 100step としている。なお SUMO 上では時間の単位が step であり、1step=1 秒で

表 1: 実験の車両設定

設定項目	大型車両	一般車両
車両長	7.1m	4.3m
加速度	1.3m/s <sup>2</sup>	2.9m/s <sup>2</sup>
減速度	4.0m/s <sup>2</sup>	7.5m/s <sup>2</sup>

表 2: 実験 1 の各シミュレーションの設定

シミュレーション名	大型車両:普通車両
sim1	1:9
sim2	3:7
sim3	5:5

ある。またシミュレーション内での大型車両と一般車両の車両設定を表 1 に示す。

比較手法としてスプリットを 0.5 に固定する静的制御、車両種別を考慮しない大野らの制御 [6] を用いている。

#### 4.1.2 実験 1

実験 1 では 3.2.1 項で述べた、車両種別を考慮した交通量の定義の有用性を確認し、パラメータ  $\alpha$  の最適値を探索する。最も単純な環境を想定しているため、図 5 に示す通り、交差点数は 1、車線数も 1 としている。また右折車両を加えると、右折専用車線がないことで右折車両がたまたま待ち行列の先頭になってしまうことで大きな渋滞が発生してしまうことがあり、正しい探索ができないことから実験 1 では右折車両をなくし交差点での左折車両:右折車両:直進車両の比率は 1:0:9 とした。車両流入量比は東西方向:南北方向=1:1 とし、車両の流入間隔は 2 台/2step としている。シミュレーション期間は 14400step とし、評価指標は遅れ時間とした。以上の条件のもと、大型車両と普通車両の比率を表 2 に示すような複数パターンを用意してシミュレーションを行った。

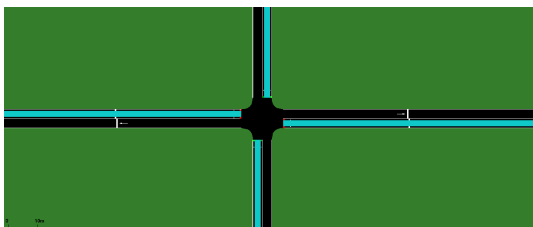


図 5: 実験 1 の道路環境

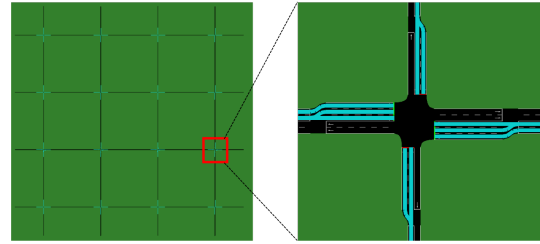


図 6: 実験 2 の道路環境

表 3: 実験 2 の時間ごとの車両流入数の設定

time [step]	東西 [台/h・車線]	南北 [台/h・車線]
0~3600	360 (5:5)	360 (0:10)
~7200	480 (3:7)	360 (0:10)
~10800	420 (3:7)	420 (0:10)
~14400	360 (3:7)	480 (0:10)

#### 4.1.3 実験 2

実験 2 では実験 1 で最適とされたパラメータ  $\alpha$  を用いて、様々な環境で大型車両を考慮した交通量の定義の有用性を示す。道路環境は図 6 に示す通り 4 × 4 交差点とした。各流入路は 600m、交差点間の距離は 1200m である。下から 2 本目の道路は幹線道路、それ以外の道路を一般道路としている。幹線道路は全て 2 車線となっており、交差点手前 50m から右折専用レーンを設けている。一方非幹線道路は全て 1 車線となっており、幹線道路と交わる交差点の手前 50m から右折専用レーンを設けているが、非幹線道路同士の交差点には右折専用レーンを設けていない。そのため幹線道路上の交差点では右折専用現示が存在し、3.2.3 項の手法を用いて、右折専用現示のスプリットを決めている。各交差点の左折車両:右折車両:直進車両の比率は 1:1:8 とし、車両の流入間隔は 2 台/2step としている。シミュレーション期間は 14400step とし、評価指標は遅れ時間、平均待ち回数とした。

実験 2 では様々な環境での有効性を示すために交通状況が変化する環境で実験を行っている。そのため時間ごとに流入する車両数、大型車両と一般車両の流入数の割合を表 3 に示す通りに変化させた。

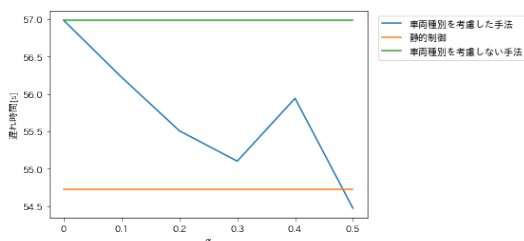


図 7: 実験 1 の平均遅れ時間の比較 (sim1)

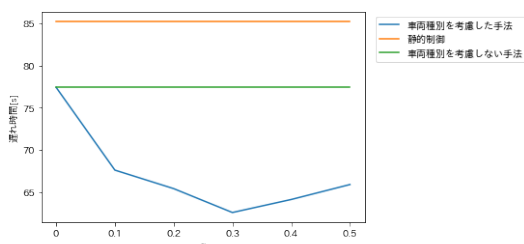


図 8: 実験 1 の平均遅れ時間の比較 (sim2)

## 4.2 実験結果

上記で述べた実験設定における各実験の実験結果を以下に示す。

### 4.2.1 実験 1

実験 1 での各評価指標の結果を図 7~9 に示す。

図 7 より sim1 の結果を比較すると、結果に大きな差が出ていないことがわかる。一方図 8, 9 より sim2, sim3 の結果を比較すると、車両種別を考慮する本手法は遅れ時間を減らすことを示していることから、大型車両が多い時、本手法が有効であることがわかった。またこのシミュレート最適なパラメータ  $\alpha$  の値は 0.3 であると考えられる。

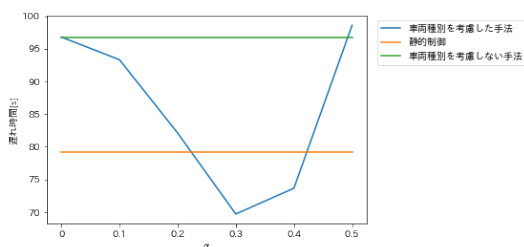


図 9: 実験 1 の平均遅れ時間の比較 (sim3)

表 4: 実験 2 の平均遅れ時間、平均待ち回数の比較

制御手法	平均遅れ時間 [s]	平均待ち回数 [回]
静的制御	760.120	6.569
車両種別を考慮 しない手法	719.885	5.828
車両種別を考慮 する手法	716.382	5.723

### 4.2.2 実験 2

実験 2 での各評価指標の結果を表 4 に示す。

表 4 より車両種別を考慮する本手法は、静的制御より、平均遅れ時間は 5.8% の減少、平均待ち回数は 12.9% の減少と一定の有効性がでている一方、車両種別を考慮しない先行研究の手法と比べると、平均遅れ時間は 0.5% の減少、平均待ち回数は 1.8% の減少と改善されているがその幅は小さいものとなっている。

## 4.3 考察

実験 1 の結果より車両種別を考慮する本手法が有効であることが示された。またその際のパラメータ  $\alpha$  はこのシミュレーションでは 0.3 が最適値であることが示された。そして実験 2 の結果より複雑な環境で車両種別を考慮した手法の有効性を示すことができた。

これら車両種別を考慮した手法の有効性が示される要因として、大型車両と一般車両の加速度の違い、車両長の違いが考えられる。表 1 より大型車両は一般車両に比べて、車両長が 1.65 倍、加速度は 0.45 倍と一般車両よりも渋滞に与える影響が大きい。このことから大型車両を  $1 + \alpha$  倍に数え大型車両の影響度を大きくすることで、車両種別を考慮しない手法よりも平均遅れ時間と平均待ち回数の改善が見られると考える。

一方、本手法の有効性や実験 1 で行ったパラメータ  $\alpha$  の最適値の探索は、先行研究の手法で一般車両だけの状況下で最適化できることが前提となる。例えば今回大型車両の流入は東西方向のみとしているが、もし先行研究の手法で一般車両のみの状況下で南北方向よりも東西方向の渋滞が発生しやすい状態であった場合、大型車両を考慮した手法を採用したとき大型車両が多い東西方向のスプリットが大きくなることから結果はむしろ悪化してしまう可能性がある。今回実験 1 のような最も単純な状況下においては大きな有効性を示すことができたが、実験 2 のような複雑な状況下では有効性が小さくなった原因として、複雑な状況下では本手法とは関係ない要因があった可能性も考えられる。

表 5: 実験 3 の設定

シミュレーション名	制御する信号機の数
sim1	1
sim2	2
sim3	4

## 5 物理的な分散化に関する評価実験

この実験では 3.3 節で述べた、物理的な分散化が適切に動作するかの検証を行う。適切に動作しているかの指標は以下の 2 点である。

- スプリットの正答率が 100% であること

分散化を行わずこれまでと同様に 1 台の PC でシミュレーションを行った場合と全く同じスプリットの計算ができることを示す。

- 1step あたりの実行時間が 1 秒以下であること

前述した通り SUMO 上では時間の単位が step であり、1step を 1 秒としている。分散化を行った結果 1step にかかる時間が 1 秒以下になることを示す。

### 5.1 実験概要

#### 5.1.1 実験 3

実験 3 では複数交差点の制御において、適切に物理的な分散化ができていのかどうか検証する。また制御する信号機の数が増え、必要な PC の数が増えることによる遅延時間の影響についても検討する。

表 5 に示す通り、制御する信号機の数を変えてシミュレーションを実行する。

### 5.2 実験結果

上記で述べた実験設定における各実験の実験結果を以下に示す。

#### 5.2.1 実験 3

実験 3 の各評価指標の結果を表 6 に示す。また 1step あたりの実行時間の推移をシミュレーションごとに図 10, 11, 12 に示す。

表 6 より sim1, sim2 において 2 点の評価ポイントを満たしていることがわかる一方、sim3 では 1step あたりの実行時間が 1 秒を超える step が 2 回あった。sim1,

表 6: 実験 3 の結果

評価指標	sim1	sim2	sim3
スプリットの正答率	100%	100%	100%
1step あたりの実行時間の平均 [ms]	15.236	28.240	67.158
1step あたりの実行時間の最大値 [ms]	799.000	667.000	1078.000

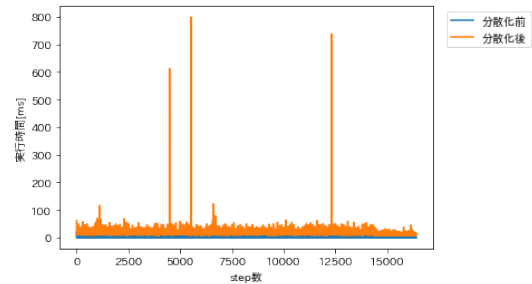


図 10: 実験 3 の 1step あたりの実行時間の推移 (sim1)

sim2 でも実行時間の最大値は 1 秒を下回っているが突発的に実行時間が遅くなることが複数回あることがわかる。

### 5.3 考察

まず評価ポイントの 1 つ目である分散化後でも分散化前と同様のスプリット計算ができることは、全てのシミュレーションで実証された。次に評価ポイントの 2 つ目である分散化後でも 1step あたり 1 秒以内で実行ができるという点については、制御する信号機の数 が 2 以下である sim1, sim2 では実証されたが、制御する信号機の数 が 4 である sim3 では 1 秒以上実行にかかる step が存在してしまっ た。しかしほとんどの step の実行時間は 100ms 以下に抑えられていること、sim1

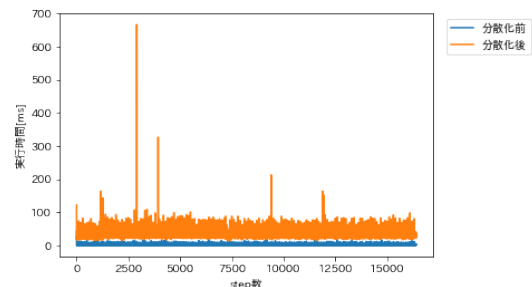


図 11: 実験 3 の 1step あたりの実行時間の推移 (sim2)

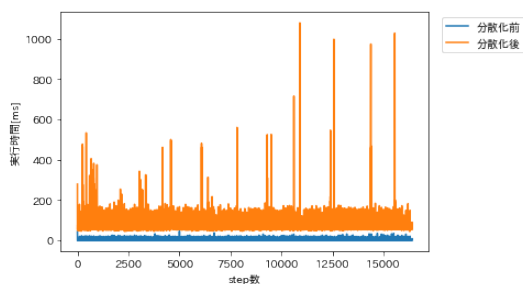


図 12: 実験 3 の 1step あたりの実行時間の推移 (sim3)

や sim2 でも突発的に実行時間が長くなることからこれは制御する信号機の数が増えることよりも通信状況の不安定さが問題となっている可能性が高い。そのため本手法を大幅に変更する必要はなく、実行時間が 1 秒以上かかることがあったとしても、他の数値で代用するなどの対策をとることで実証実験を行うことができると思う。

## 6 おわりに

本研究では、大野らが提案したマルチエージェント動的信号機制御モデル [6] を改良し、車両種別による違いを考慮した信号機制御手法を提案した。それぞれの実験で提案手法の評価を行い、車両種別を考慮することにより交通流が円滑化することを確認した。またこのモデルを実際に各エージェントに見立てた複数 PC に分散化し、適切にモデルが動くことも確認した。これらの結果により実証実験を行う準備が大きく進んだ。

### 6.1 今後の課題と展望

今後の課題が大きく 3 点ある。

1 点目は本モデルにオフセット制御のモデルを組み合わせることである。オフセット制御モデルを組み合わせることにより、複雑な環境下での効果が大きくなると考える。

2 点目は本モデルに歩行者も加味した実験を行うことである。歩行者を加味することで、歩行者の交通流の円滑化を図るだけでなく、歩行者がいることにより右左折ができない車両が出ることを考慮し車両交通流の円滑化することにもつながる。そのため歩行者の情報を考慮することは重要であると思う。

3 点目は実験 3 の考察で述べたとおり、通信状況が悪くなったりエージェントが故障するなど予期しないトラブルが起きたとしても、信号機が問題なく制御し続ける仕組みを作る必要があるということである。実証

実験ではプログラム上でこのような制御を行う他、信号機の制御器にも同様の措置を行う予定である。

実証実験に先立ち、これらの課題を解決したい。

## 謝辞

本件は、NEDO・人工知能技術適用によるスマート社会の実現事業「人工知能を活用した交通信号制御の高度化に関する研究開発」の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] Sakakibara, H., Usami, T., Itakura, S. and Tajima, T.: MODERATO (Management by Origin-Destination Related Adaptation for Traffic Optimization), *Proceedings 1999 IEEE/IEEJ/JSAI International Conference on Intelligent Transportation Systems (Cat. No. 99TH8383)*, IEEE, pp. 38–43 (1999).
- [2] Prabuchandran, K., AN, H. K. and Bhatnagar, S.: Multi-agent reinforcement learning for traffic signal control, *17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, IEEE, pp. 2529–2534 (2014).
- [3] Liu, M., Deng, J., Xu, M., Zhang, X. and Wang, W.: Cooperative deep reinforcement learning for traffic signal control, *Proceedings 23rd ACM SIGKDD Conference, Discovery Data Mining (KDD)* (2017).
- [4] 杉正夫, 湯浅秀男, 新井民夫 : グラフ上の反応拡散方程式による交通信号網の自律分散型制御, 計測自動制御学会論文集, Vol. 39, No. 1, pp. 51–58 (2003).
- [5] 小中裕次郎, 矢野純史, 香川浩司, 森田哲郎, 沼尾正行, 栗原聡 : バネモデルによる信号機スプリット値分散制御法の構築, 人工知能学会全国大会論文集第 24 回全国大会 (2010), 一般社団法人 人工知能学会 (2010).
- [6] 大野啓介, 神崎陽平, 高屋英知, 栗原聡 : マルチエージェント動的信号機制御システムの提案, 研究報告知能システム (ICS), Vol. 2020, No. 15, pp. 1–8 (2020).