

オープンワールドレースゲームにおける  
一般車両の交通流動的調整に関する研究

東京工科大学大学院

バイオ・情報メディア研究科

メディアサイエンス専攻

柊元 勇輝

オープンワールドレースゲームにおける  
一般車両の交通流動的調整に関する研究

指導教員 渡辺 大地 教授

東京工科大学大学院

バイオ・情報メディア研究科

メディアサイエンス専攻

柘元 勇輝

## 論文の要旨

論文題目	オープンワールドレースゲームにおける 一般車両の交通流動的調整に関する研究
執筆者氏名	終元 勇輝
指導教員	渡辺 大地 教授
キーワード	オープンワールド、レースゲーム、自動車、交通流、調整

### [要旨]

近年、オープンワールドレースゲームというゲームジャンルが多く存在する。このゲームジャンルでは、広大なマップを探索し、様々な場所でレースやタイムアタックを行うことができるという特徴を持つレースゲームである。ゲーム内には交通ルールに従って走行する一般車両が存在する。この一般車両が形成する交通流は、現実世界の自動車形成する交通流とは異なり、発展した都市や地方の町での交通流の違いがない。マップ環境の変化に応じて交通流が変化しないことによって、景観の一部としての役割を担えていないという問題がある。そこで、本研究では、ゲーム内の一般車両が形成する交通流をマップ環境に合わせた変化をするような調整を行うことで、現実世界の自動車の交通流に近づけることを目的として、一般車両の追加や消去を行わないことで複数の視点から見ても破綻を来さない一般車両の交通流動的調整手法を提案する。

提案手法では、ゲーム内のマップにおいて、注目したい箇所に対して区画という範囲を設定する。次に区画の中に注目区画を設定しその区画の混雑設定というを行う。この注目区画と混雑設定を基に周辺の区画の車両密度を算出する。注目区画を一般車両が目的地として設定し、車両密度に基づいて目的地までのルート設定を行うことによって値に応じた交通流に調整する手法である。

検証として特に移動に制限のないマップ1と移動に制限が掛かるマップ2にを制作し、各マップにおいて注目区画が2つの場合と3つの場合のシミュレーションを行った。検証の結果としては、マップ1とマップ2共に、注目区画が2つの場合、3つの場合共に設定した注目区画と車両密度に基づいた交通流の調整を行うことができた。3つの場合では注目区画の混雑設定の影響が注目区画が2つの場合に比べ大きく交通流に出るという結果となった。

# A b s t r a c t

Title	A Study on Traffic Flow Adjustment in Open World Racing Games
Author	Yuki Kukimoto
Advisor	Taich Watanabe
Key Words	Open-World, Racing-Game, Vehicle, Traffick-flow, Adjustment

## [summary]

In recent years, there have been many open-world racing games. In this game genre, the player can explore a vast map and race or time attack in various locations. There are ordinary vehicles that drive according to the traffic rules in the game. Unlike the traffic flow formed by cars in the real world, the traffic flow formed by these vehicles is not different from the traffic flow in developed cities and rural towns, making it a problematic part of the landscape. Therefore, this study proposes a traffic flow coordination method for general vehicles that does not break down from multiple viewpoints by not adding or eliminating general vehicles.

In the proposed method, a region called a parcel is defined for a location of interest on a map of an open-world racing game. Next, a parcel of interest is set within the parcel, and its congestion is set. Based on the parcel of interest and the congestion settings, the density of vehicles in the surrounding parcels is calculated. The vehicle density is then used to adjust the traffic flow according to the value of the vehicle density by setting up a route to the destination based on the vehicle density.

To verify the method, we created two maps, Map 1 and Map 2, and simulated two and three parcels of interest in each map. The results showed that both Map 1 and Map 2 were able to adjust the traffic flow based on the set number of parcels of interest and the vehicle density in both cases.

# 目次

<b>第 1 章</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	研究背景と目的 . . . . .	2
1.2	論文構成 . . . . .	8
<b>第 2 章</b>	<b>提案手法</b>	<b>9</b>
2.1	注目区画と混雑設定 . . . . .	10
2.2	目的地の設定方法 . . . . .	11
2.3	一般車両のルート設定 . . . . .	12
<b>第 3 章</b>	<b>提案手法の検証と考察</b>	<b>17</b>
3.1	実装環境 . . . . .	18
3.2	一般車両 . . . . .	18
3.3	提案手法を適用しなかった場合の実行結果 . . . . .	19
3.4	提案手法を適用した場合の実行結果 . . . . .	20
	3.4.1 注目区画が 2 つの場合 . . . . .	21
	3.4.2 注目区画が 3 つの場合 . . . . .	23
3.5	マップの構造を変更した場合の実行結果 . . . . .	26
3.6	マップ 2 における提案手法を適用しなかった場合の実行結果 . . . . .	27
3.7	マップ 2 における提案手法を適用した場合の実行結果 . . . . .	28
	3.7.1 マップ 2 における注目区画が 2 つの場合のシミュレーション . . . . .	28
	3.7.2 マップ 2 における注目区画が 3 つの場合のシミュレーション . . . . .	31
3.8	検証結果のまとめと考察 . . . . .	34
<b>第 4 章</b>	<b>議論</b>	<b>38</b>
4.1	検証結果について . . . . .	39
4.2	提案手法の特色 . . . . .	39
4.3	提案手法の課題 . . . . .	40

第5章	まとめ	41
	謝辞	44
	参考文献	47
	発表実績	51

# 目次

1.1	Need for Speed Heat における一般車両の交通流 . . . . .	3
1.2	The Crew2 における一般車両の交通流 . . . . .	3
1.3	Need For Speed Heat における都市部の画像 . . . . .	4
1.4	一人で遊ぶ場合の視界 . . . . .	4
1.5	複数人で遊ぶ場合の視界 . . . . .	5
2.1	マップの区画設定イメージ図 . . . . .	10
2.2	車両密度算出後のイメージ図 . . . . .	11
2.3	スタートする交差点の決定イメージ図 . . . . .	12
2.4	一般車両が選択可能な方向の候補イメージ図 . . . . .	13
2.5	目的地を考慮した選択可能な方向の限定 . . . . .	14
2.6	区画の車両密度を基に比率を決定するイメージ図 . . . . .	14
2.7	設定したルートから次の交差点を設定するイメージ図 . . . . .	16
3.1	マップ 1 の構造と区画設定を示した画像 . . . . .	18
3.2	一般車両の形状モデル . . . . .	19
3.3	手法を適用しなかった場合での全体に分散して走行する一般車両の画像 . . . . .	20
3.4	マップ 1 における提案手法を適用しなかった場合の各区画の通過量を示したヒートマップ	20
3.5	マップ 1 に設定した 2 つの注目区画を示した画像 . . . . .	21
3.6	マップ 1 において 2 つの注目区画から算出した各区画の車両密度を示した画像 . . . . .	21
3.7	左：初期状態，中央：1 分経過後，右：3 分経過後 . . . . .	22
3.8	一般車両が設定したルート例 . . . . .	22
3.9	マップ 1 における注目区画が 2 つの場合の各区画の通過量を示したヒートマップ . . . . .	23
3.10	マップ 1 に設定した 3 つの注目区画を示した画像 . . . . .	23
3.11	マップ 1 において 3 つの注目区画から算出した各区画の車両密度を示した画像 . . . . .	24
3.12	左：初期状態，中央：1 分経過後，右：3 分経過後 . . . . .	24
3.13	一般車両が注目区画の間にある区画を利用したルート設定の例 . . . . .	25

3.14	マップ 1 における注目区画が 3 つの場合の各区画の一般車両の通過量を示したヒートマップ	25
3.15	マップ 2 の構造と区画設定を示した画像 . . . . .	26
3.16	マップ 2 における手法を適用しなかった場合での全体に分散して走行する一般車両の画像	27
3.17	マップ 2 における提案手法を適用しなかった場合の各区画の通過量を示したヒートマップ	28
3.18	マップ 2 に設定した 2 つの注目区画を示した画像 . . . . .	29
3.19	マップ 2 において 2 つの注目区画から算出した各区画の車両密度を示した画像 . . . . .	29
3.20	左：初期状態，中央：1 分経過後，右：3 分経過後 . . . . .	30
3.21	マップ 2 における注目区画が 2 つの場合での一般車両が設定したルートの可視化画像 . . .	30
3.22	マップ 2 における注目区画が 2 つの場合の各区画の一般車両の通過量を示したヒートマップ	31
3.23	マップ 2 に設定した 3 つの注目区画を示した画像 . . . . .	32
3.24	マップ 2 において 3 つの注目区画から算出した各区画の車両密度を示した画像 . . . . .	32
3.25	左：初期状態，中央：1 分経過後，右：3 分経過後 . . . . .	33
3.26	マップ 2 における注目区画が 3 つの場合の一般車両が設定したルートの可視化画像 . . .	33
3.27	マップ 2 における注目区画が 3 つの場合の各区画の一般車両の通過量を示したヒートマップ	34
3.28	左：提案手法を適用しなかった場合，右：提案手法を適用した場合 . . . . .	35
3.29	左：注目区画が 2 つの場合のルート，右：注目区画が 3 つの場合のルート . . . . .	36
3.30	マップ 1 において混雑設定を低くした注目区画 2 に一般車両が集中している場面の画像 .	37

# 第 1 章

## はじめに

## 1.1 研究背景と目的

近年では、オープンワールドレースゲームというゲームジャンルの作品が多く存在している。広大なマップを自動車で自由に探索し、様々な場所でレースやタイムアタックを行うレースゲームである。また、オンラインによる複数人での探索やレースも行うことができる。オープンワールドレースゲームのマップ内には、一般車両が存在する。一般車両とは、ゲーム内の交通ルールに従いながら走行する AI 車両である。ゲーム内の交通ルールは現実世界の交通ルールと近いものであり、速度制限や信号での停止といったようなルールに従って走行している。このように一般車両は、様々な車種で登場し、現実世界に近い交通ルールに従って走行することによって、現実世界で走行している自動車を表現している。現実世界の自動車を再現することによって、ゲーム内の世界観を作るための景観の一部としての役割を担っている。複数の車種の利用や現実世界に近い交通ルールに基づいた挙動によって現実に近い自動車の流れを再現することは可能であるが、現実世界の自動車が形成する交通流を再現するには、周囲の環境に応じた交通流の違いを再現することも重要である。現実世界の自動車の交通流には、周辺的环境に応じて交通流が変化するという特徴がある。発展した都市では、人口が多いことから交通量が多いため、多くの自動車が走行している。実際に、都市部では自動車が集中することから渋滞が問題となっている。そのため、高村ら [1] が行った交通流を円滑にすることを目的とした信号機制御に関する研究や檀ら [2] による車両の集中による渋滞の制御を目的とする信号制御アルゴリズムの様な、渋滞解消を目的とした研究が多く存在する。

一方で地方の小さな町都市部と比較すると人口は少ないため交通量が少なく、すれ違う自動車の数も少ない。このように、現実世界の自動車は周囲の環境に応じて交通流は変化する。しかし、オープンワールドレースゲーム内に登場する一般車両が形成する交通流は現実世界の自動車の交通流とは異なっている。現在発売しているオープンワールドレースゲームである、Electronics Arts[3] が開発した Need For Speed[4] と Ubisoft Entertainment SA[5] が開発した The Crew2[6] の 2 つのオープンワールドレースゲームにおける一般車両の交通流を調査した。調査結果としては、2 つのゲームに登場する一般車両の交通流はどちらもマップの環境に応じて変化することはなく、都市部でも地方部でも交通流は一定であった。また、交通流の特徴として車両の数は少なく、1 から 3 台の集団が時折走行しているような状況であった。図 1.1 と図 1.2 は、実

際に調査した Need For Speed[4] と The Crew2[6] における一般車両の交通流の画像である。



図 1.1 Need for Speed Heat における一般車両の交通流



図 1.2 The Crew2 における一般車両の交通流

このようなことから、ゲーム内に登場する一般車両の交通流は、現実世界の自動車の交通流と比較して、マップの環境に応じて変化することはなく一定であり、車両の数も少ないということが分かった。現状のゲーム内の一般車両が形成する交通流のように、都市部と地方部共に交通流が変化しない場合、都市部においても地方部の様に台数が少なくまばらな交通流になってしまうため、高層ビルが並び人口が多いことが予想できるにも関わらず、予想した人口にそぐわない交通量になってしまう。図 1.3 は Need For Speed Heat[4] において日中の都市部を走行している際

の画像である。そのため、現実世界の自動車の交通流と異なってしまふことから、現実世界の自



図 1.3 Need For Speed Heat における都市部の画像

動車を再現しきれていないため、景観の一部としての役割に問題がある。

しかし、オープンワールドレースゲームにおいて、現実世界の交通流を調整するためにはプレイヤーの視界による制約を考慮する必要がある。プレイヤーが1人で遊ぶ場合であれば、プレイヤーの視界に入っていない場所に一般車両の追加や消去をすることで交通量の増減を調整することができるため、一般車両の交通流の調整は容易である。図 1.4 はプレイヤーが一人で遊ぶ場合の視界のイメージ図である。

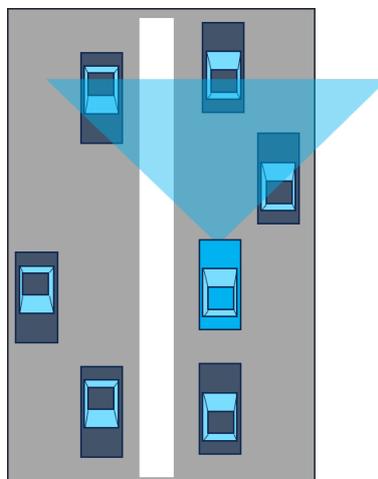


図 1.4 一人で遊ぶ場合の視界

しかし、オンラインで複数人で遊ぶ場合は遊んでいる人数分の視界を考慮する必要がある。複数のプレイヤーが動くことによって全プレイヤーから見て視界外となる領域が頻繁に変わることから一般車両の追加や消去が困難になる。図 1.5 はプレイヤーが一人で遊ぶ場合の視界のイメージ図である。

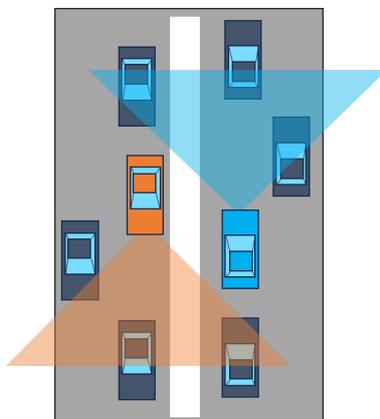


図 1.5 複数人で遊ぶ場合の視界

このようなことから、オンラインで複数人で遊ぶことを考慮する場合には、一般車両の追加、消去を行わない調整方法を利用する必要がある。以上のことから、オープンワールドレースゲームにおいて、一般車両が形成する交通流が現実世界の交通流と異なることで発生する問題を解決するためには、オンラインでの複数人で遊ぶ場合でも交通流を調整を可能にする必要がある。そこで、本研究では、一般車両の追加、消去を行わずにゲーム内の一般車両が形成する交通流の変化を可能にすることで、オンラインで複数人で遊ぶような状況でも現実世界の自動車の交通流に近づけるための調整手法を提案することを目的とする。

レースゲームに関する研究はいくつか存在している。マップに関する研究として、大柳ら [7] は、PLATEAU[8] を利用した実在の都市をコースをの制作を容易にする研究を行った。宮本ら [9] は PLATEAU[8] や OpenStreetMap[10] といった複数の大規模オープンデータを用いたマップ制作に関する研究を行った。レースゲームに登場する競争相手となる AI の性能を向上する研究も存在する。藤井ら [11] はカーレーシングゲームにおいて高レベルな意思決定を行う適応型ファジイシステムのを提案した。また、レースゲームの応用として実際の自動車の運転の練習に活用する事例も存在する。三浦ら [12] は全日本学生フォーミュラ大会に向けたドライバーの運転

練習に 3D のレーシングシミュレータを活用した。近年では、VR レースゲームに関する研究も存在しており、萱場ら [13] は減速した際に視野角を広げることで、速度感を低下しないような VR レースゲームの開発を行い、疾走する体験と酔いを軽減するという両立を目的とした研究を行った。音という観点においては、高ら [14] が視覚情報を用いないレーシングゲームの開発を行った。実況という観点では石垣ら [15] によるレーシングゲームに対する実況を自動生成する研究が存在する。このように、レースゲームというジャンルに関しては、様々な観点での研究が存在する。しかし、オープンワールドレースゲームに登場するゲーム内の交通ルールに従って走行する一般車両のような AI 車両が形成する交通流を改善するような研究は存在しない。そこで、本研究では交通流の調整の際に一般車両の追加や消去をしないことで複数の視点から見ても破綻を来さない一般車両の交通流動的調整手法を提案する。

一般車両の追加や消去をしない方法としては、交通シミュレーションを利用した交通流の再現がある。交通シミュレーションとは、交差点や信号といった制御システムや、高速道路などの道路環境を再現し、コンピュータ上で交通流を再現するシミュレーションを指す。主に渋滞の再現や原因の究明、新技術の検証に利用する。渋滞に関する研究としては、山本ら [16] によるボトルネック [17] による渋滞に関する研究や、駒田ら [18] によるサグ部 [19] による渋滞に関する研究などが存在する。新技術の検証という点では、加藤ら [20] による自動運転車両 [21] が混在していることを想定した交通シミュレーションの研究や岡野ら [22] によるレベル 4 の自動運転車両 [21] を導入したを想定した研究の様な、自動運転の導入の検証に関する研究が多く存在する。する。伊藤ら [23] による降雪による事故のリスクを考慮した交通シミュレーションに関する研究や藤田ら [24] による台風を想定した交通シミュレーションによる対策評価を行う研究の様な天候を想定した交通シミュレーションを利用した研究も存在する。また、福本ら [25] による燃費の予測を行うような交通シミュレーションの研究や、小林ら [26] による大気環境の改善を目的とした交通シミュレーションの研究も存在する。このように、様々な問題に対して交通シミュレーションを利用した研究が存在する。

近年では交通シミュレーションのマクロモデルとマイクロモデルの 2 つのモデルを切り替え、大規模で且つ精度の高い交通シミュレーションを行う研究も存在している。高橋ら [27] はハイブリッドシミュレーションに関する研究を行った。この研究では、交通シミュレーションのモデル

として利用される「マクロモデル」と「マイクロモデル」の2つのモデルを切り替えて利用する「ハイブリッドシミュレーション」を実現した。このような交通シミュレーションを利用することによって、一般車両の追加、消去を行わずに都市全体の交通流を再現し、天候や道路環境を考慮した交通流の再現することは可能である。しかし、このような交通シミュレーションは、本研究で取り上げているオープンワールドレースゲームに登場するプレイヤーの様な交通ルールを無視して走行する自動車は想定していない。そのため、プレイヤーが高速に移動することでゲーム内のマップの環境の変化が速くなり、交通流の変化速度が間に合わないことや、渋滞が発生してしまいプレイヤーの通路を塞いでしまう現象が発生する。また、交通シミュレーションを利用して交通流を再現しようとした場合には、交通量や各車両の加速度の設定など、詳細な設定を必要とするため理想とする状態に調整することが難しい。このようなことから、オープンワールドレースゲームに対して、交通シミュレーションを導入しただけでは交通流の改善は困難である。そこで、本研究の提案手法では比較的容易な設定で交通流の変化を可能にする手法を提案する。

本研究の提案手法としては、注目するマップに区画という範囲を設定する。その区画の中でも調整を行いたい区画を注目区画とし、その区画にどれだけ一般車両が集中するのかを示す混雑設定を行う。この注目区画と混雑設定を基に注目区画以外の区画の車両密度を算出する。一般車両は注目区画と算出した車両密度の値を基に一般車両はルート選択を行う。ルート選択は主に交差点から進行方向を選択し、目的地までのルートを設定する。ルート選択の際には目的地に接近することができる進行方向に選択肢を絞り、絞ったルートから車両密度を基にルート選択を行う。注目区画の混雑設定と車両密度を基にした一般車両のルート選択を行うことで、設定に基づいた交通流の調整を行うような手法を提案する。

提案手法の検証として、移動に制限がないマップ1と移動に制限が掛かるマップ2を制作し、簡易的なシミュレーションを行った。結果としては、検証として特に移動に制限のないマップ1と移動に制限が掛かるマップ2にを制作し、シミュレーションを行った。検証の結果としては、マップ1とマップ2共に、設定した注目区画と車両密度に基づいた交通流の調整を行うことができた。このことから、比較的多くのルートからたどり着けるようなマップや比較的多くのルートからたどり着けるようなマップや目的地にたどり着くまでの移動ルートが少ないようなマップにおいては本研究の提案手法を利用することによって交通流の調整を行うことができると考える。

このようなマップにおいては、一般車両の追加や消去を行うことなく混雑設定と車両密度に基づいて交通流の調整を行うことができるため、プレイヤーの視界による制限を受けることなく調整が可能になると考える。一般車両の追加や消去を行っていないことから、調整による不自然な一般車両の出現や消滅を防ぐことができると考える。また、交通量という観点において、混雑設定を行うことでその区画に向かう一般車両の量を調整することができるため、混雑設定を変えることによって様々な環境に基づいた調整が可能であると考え。しかし、現状の提案手法では、簡易的な設定によるシミュレーションでの検証のみにとどまっているため、実際のオープンワールドレースゲームに対して利用する際には、一般車両の最高速度や加速度といった詳細な設定や坂道や信号などによる影響を考慮する必要がある。これらのことから、本研究で提案した手法は複数人で遊ぶようなオープンワールドレースゲームにおいても、一般車両の交通流を想定するものに調整するシステムの基礎として貢献できると考える。

本研究の提案手法において、混雑設定を行った注目区画自体の交通流の調整と注目区画が2つの場合における調整の改善が今後の課題である。

## 1.2 論文構成

本論文は全4章で構成する。第2章では、提案手法について述べる。第3章では、提案手法の検証と考察について述べる。第4章では検証結果に基づいた議論について述べ、第5章ではまとめを述べる。

## 第 2 章

# 提案手法

本章では、提案手法について述べる。本研究の提案手法では、オープンワールドレースゲームのマップにおいて、注目したい箇所に対して区画という範囲を設定する。次に区画の中に注目区画を設定しその区画の混雑設定というを行う。この注目区画と混雑設定を基に周辺の区画の車両密度を算出する。注目区画を一般車両が目的地として設定し、車両密度に基づいて目的地までのルート設定を行うことによって値に応じた交通流に調整する手法である。まず、注目するマップを分割し、それぞれを区画と呼称する。本研究では、マップを格子状に分割する。図 2.1 はマップの区画設定のイメージ図である。赤い線は区画を示している。

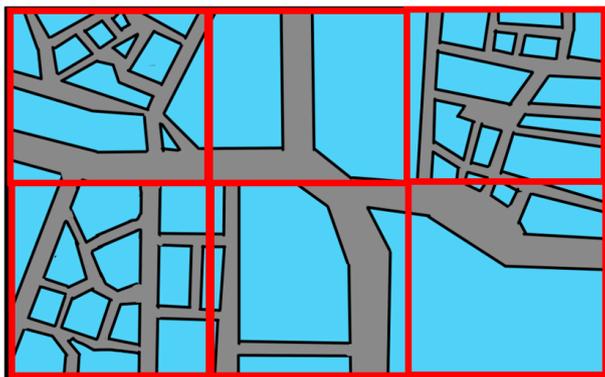


図 2.1 マップの区画設定イメージ図

## 2.1 注目区画と混雑設定

次に注目区画と混雑設定について説明する。設定した区画の中でも、一般車両の量を調整したい区画を設定する。(以後は注目区画と呼称する。) この注目区画を設定した後に、注目区画に対して混雑設定を行う。本研究では混雑設定の高い値の区画に一般車両が集中するようになり、値の低い区画には集中しづらくなるようにした。この注目区画と混雑設定を基に周辺区画は一般車両がどれだけ通るのかを表す車両密度の算出を行う。注目区画の位置から周囲に存在する区画  $i$  までの距離を  $d_i$  とする。注目区画の車両密度を  $C_{\max}$  とする。注目区画から各区画までの距離  $d_i$  の中でも最も値の高い  $d_i$  を  $D_{\max}$  とする。これらの値から、ある区画  $i$  の車両密度  $C_i$  は以下の式で算出する。

$$C_i = C_{\max} \times \frac{D_{\max} - d_i}{D_{\max}} \quad (2.1)$$

??による距離計算と 2.1 による車両密度の計算を注目するマップ内の設定した区画以外の区画すべてに行い、車両密度を設定する。図 2.2 は車両密度算出後のイメージ図である。

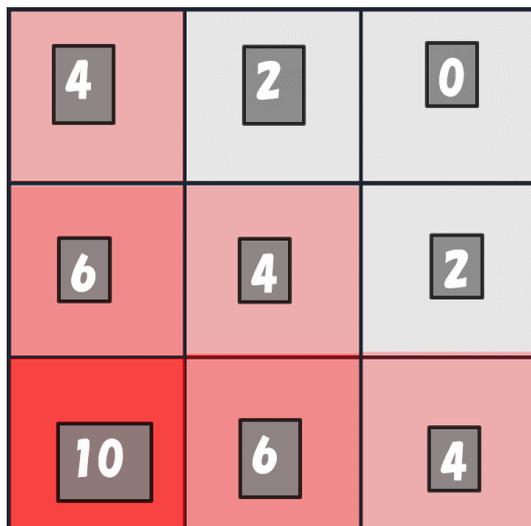


図 2.2 車両密度算出後のイメージ図

これを各注目区画から算出し、最終的に各区画の車両密度は  $C_i$  は各注目区画から式 2.1 によって算出した値を平均したものとする。

本研究の提案手法では、注目区画に行った混雑設定の値に応じて周辺の区画の車両密度を算出しているため、混雑設定を高くすることにより周辺の区画の車両密度が高くなるため、一般車両がその区画を通る確率が高くなる。逆に混雑設定を低くすることにより、混雑設定を低くすることにより周辺の区画の車両密度が低くなるため、一般車両がその区画を通る確率が低くなる。

## 2.2 目的地の設定方法

一般車両が向かう目的地の設定方法について説明する。一般車両の目的地は注目区画から選定を行う。一般車両が選択可能な注目区画の数を  $n$ 、各注目区画に設定した混雑設定の値を  $w_i$  とする。  $\sum_{i=1}^n w_i$  を最大値、0 を最小値とする範囲から求めた乱数を  $R$  とする。本研究では、乱数の設定に Unity[28] の Random[29] クラスの Range メソッドを利用した。このクラスにおける乱数の生成は George Marsaglia[30] が提案したアルゴリズムをベースとしている。この値を基に重み付き確率計算 [31] を利用して混雑設定を重みとした目的地の選定を行う。  $R$  と各注目区画の混雑

設定  $w_i$  を順に比較する。  $R$  が  $w_i$  未満の場合、混雑度  $w_i$  の注目区画を目的地とする。  $R$  が  $w_i$  以上の場合、  $R$  から  $w_i$  を減算した後に、  $w_{i+1}$  と比較を行う。 目的地が決定するまでこれを繰り返す。 目的地到達後は、一般車両が現在位置している注目区画を除いて上記の設定方法で目的地を再設定する。

注目区画の混雑設定を高くすることにより、一般車両がその注目区画を目的地にする確率が高くなるため、その注目区画に向かう一般車両を多くすることができる。 逆に混雑設定を低くすることにより、一般車両がその注目区画を目的地にする確率が低くなるため、その注目区画に向かう一般車両を少なくすることができる。

## 2.3 一般車両のルート設定

次に設定した目的地までのルート設定について説明する。 ルート設定のスタート位置は現状の進行方向から進行可能な交差点とする。 図 2.3 は一般車両の現在位置と進行方向から前方の交差点をスタートとする際のイメージ図である。

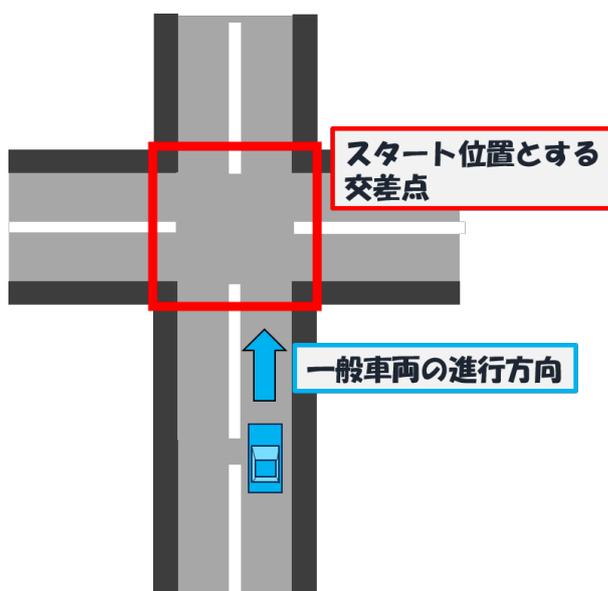


図 2.3 スタートする交差点の決定イメージ図

ルート設定は主に交差点から進行方向を選択し、進行先の交差点から進行方向の選択を目的地まで繰り返し、ルートを設定する。 例として、片側一車線の道路であり右側通行の十字路を想定すると、右側車線の場合、左方向か前方向、右方向を選択可能である。 図 2.4 は片側一車線で右側

通行の十字路で選択可能な方向を示した図である。

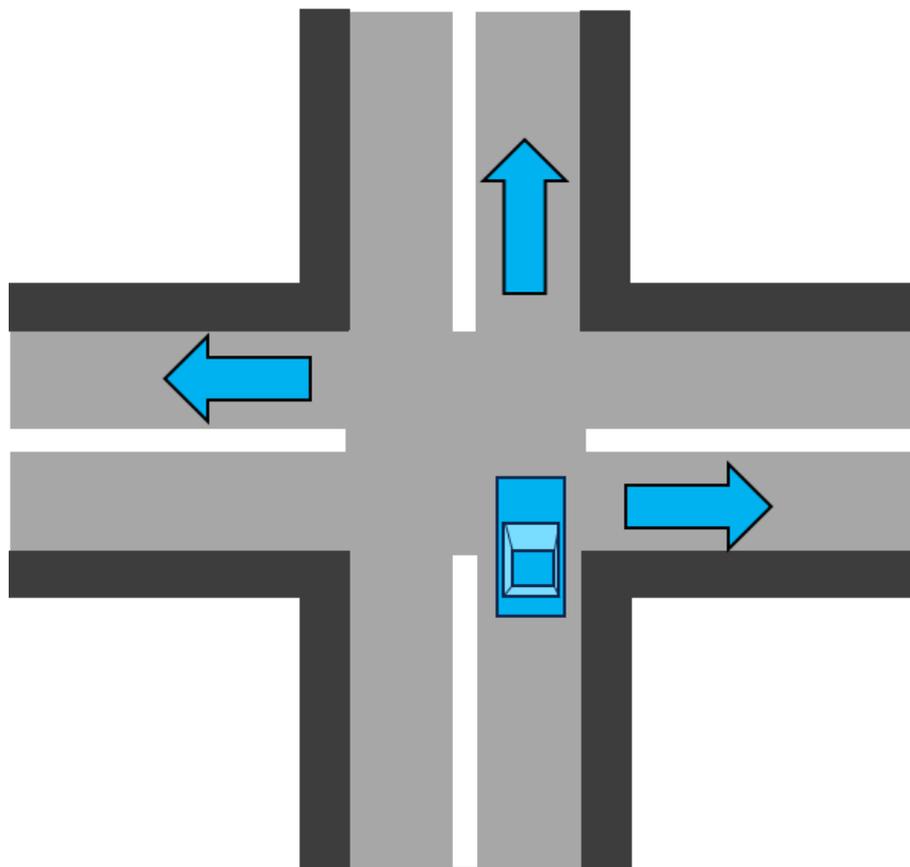


図 2.4 一般車両が選択可能な方向の候補イメージ図

次に、目的地に基づいて選択する方向を限定する。第 2.2 節にて、一般車両が向かう目的地を設定した。この目的地に向けて一般車両がルートを決めるように、交差点で選択する方向を限定する。図 2.5 は、図 2.4 の交差点において、一般車両が現在設定している交差点から左上に位置する区画を目的地として設定した際に、右方向の選択を消去し、選択する方向を限定するイメージ図である。

次に、交差点から現在いる区画から設定可能な方向に進んだ先にある区画の車両密度を参照し、方向を決定する割合として利用する。これにより、車両密度の高い区画がある方向の割合は高く、車両密度の低い区画がある方向の割合は低くなるため、車両密度の高い方向を選択しやすくする。図 2.6 は進行方向にある区画の車両密度を基に進行可能な方向の比率とするイメージ図である。図 2.6 の場合は左方向、前方向に 3:5 の比率で進行方向を決定する。

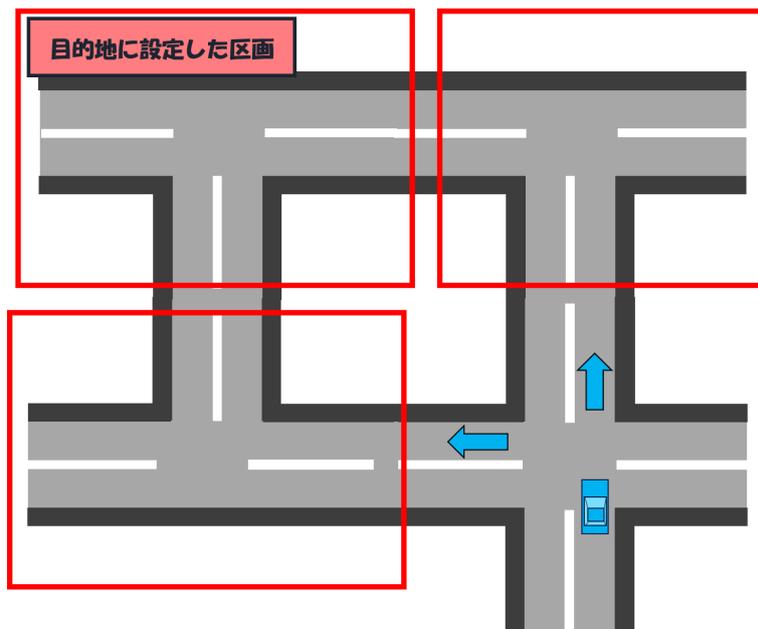


図 2.5 目的地を考慮した選択可能な方向の限定

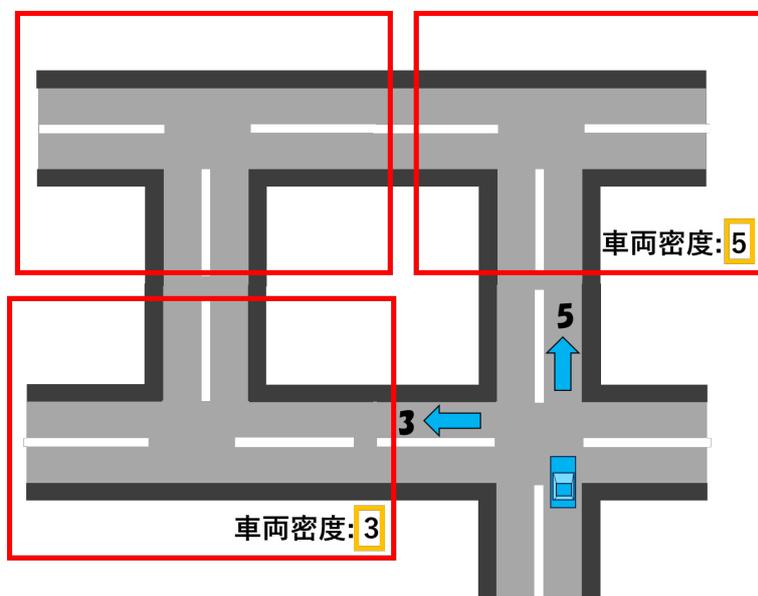


図 2.6 区画の車両密度を基に比率を決定するイメージ図

このルート設定においては、各方向に設定した車両密度を重みとして 2.2 と同様の方法でルートを設定する。以下はルート設定の際に交差点で進むルートを決める手順である。

1. ある交差点での一般車両が設定可能な方向の個数を  $l$ 、各進行方向に設定した車両密度の値を  $x_i$  とする。

2.  $\sum_{i=1}^l x_i$  を最大値, 0 を最小値とする範囲から求めた乱数を  $S$  とする.
3. 乱数  $S$  を基に第 2.2 節と同様に重み付き確率計算 [31] を利用して車両密度を重みとして設定する方向の選択を行う.
4.  $S$  と各進行方向に設定した混雑度  $x_i$  を順に比較する.
5.  $S$  が  $x_i$  未満の場合,  $x_i$  を設定した方向をルートに設定する.
6.  $S$  が  $x_i$  以上の場合,  $S$  から  $s_i$  を減算した後に,  $s_{i+1}$  と比較を行う.
7. ルートが決定するまで 5 から 7 を繰り返す.

ルートが決定した後に, そのルートに進行した際に到着する交差点を設定する. 次にルートを設定する交差点は, その交差点の現在位置と決定したルートから決定する. 例として, 図 2.7 は現在ルートに設定した交差点から前方向に進行することが決定した際に, 前方向に存在する交差点をルートとして設定するイメージ図である.

以降, 上記と同様に交差点での進行方向を決定と, 次に進行する交差点の決定を目的地までのルートが設定できるまで繰り返す. ルート設定が目的地まで完了した後に一般車両は走行を開始する. 一般車両が走行を開始後に, 目的地に到達すると第 2.2 節に基づいて目的地の再設定し, ルート設定を行う.

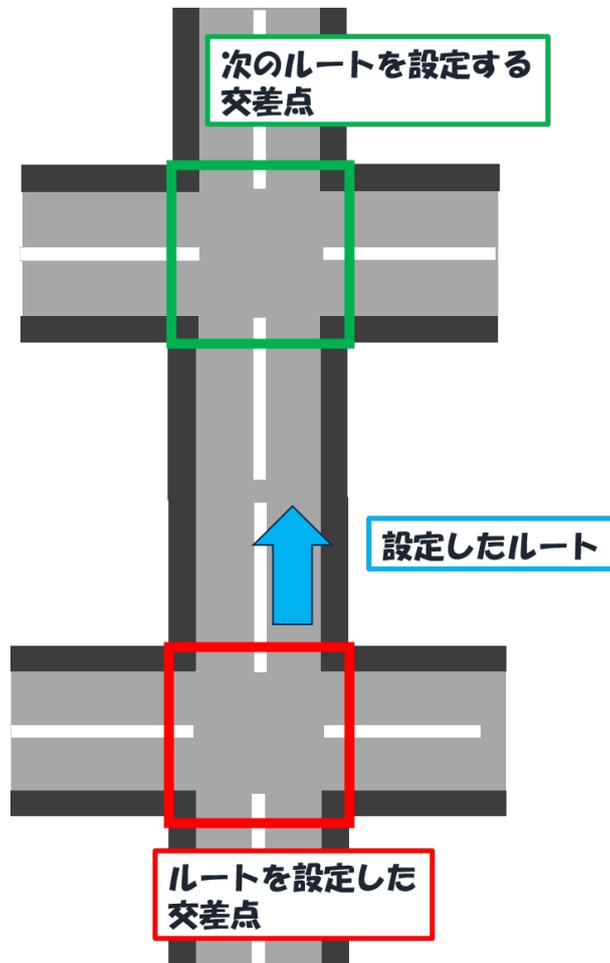


図 2.7 設定したルートから次の交差点を設定するイメージ図

## 第 3 章

# 提案手法の検証と考察

本章では，本研究の提案手法の検証方法と検証結果に基づく考察について述べる．提案手法の検証としては，規模の小さいマップ上に車両を模したモデルを配置し，提案手法を適用していない場合のシミュレーションと適用した場合のシミュレーションを行い，実行結果の比較を行う．

### 3.1 実装環境

本研究での実装には，ゲームエンジンである Unity[28] を用いて実装を行った．マップは比較的構造が単純な碁盤の目状のものを想定し，車線変更を考慮しない片側一車線の道路とした．このマップでは，構造が単純なためルートの制限がないため，提案手法を利用した際に交通流がどのように変化するかを検証する．またこのマップをマップ 1 とする．図 3.1 は制作したマップ 1 の画像である．

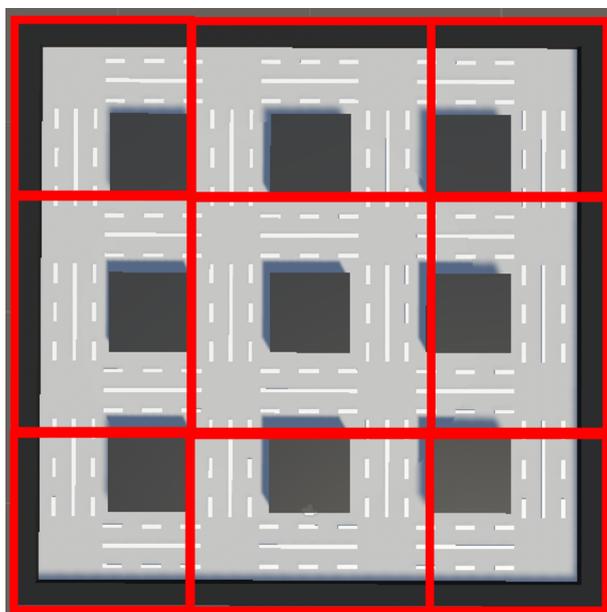


図 3.1 マップ 1 の構造と区画設定を示した画像

### 3.2 一般車両

本研究では，一般車両には最適速度モデルを利用する．このモデルは M.bond ら [32] が提案したモデルであり，交通シミュレーションで利用するマイクロモデルの一種である．前方の車両との車間距離に応じて速度を調整するモデルであり，前方の車両が接近すると減速し，離れると加速す

る。比較的容易に自動車の挙動を再現することが可能である。本研究では、注目区画の混雑設定と周辺の区画の車両密度によってどのように一般車両の流れが変化するかを検証するため、一般車両の加速度の調整や最高速度は全車両同一として、各車両の挙動の違いによる変化を考慮しないものとしている。また、一般車両の配置は、右車線と左車線の配置数を統一している。各車線の一般車両の数を統一することにより、初期の配置による偏りが起こらないようにした。図 3.2 は本研究で利用した一般車両の形状モデルの画像である。

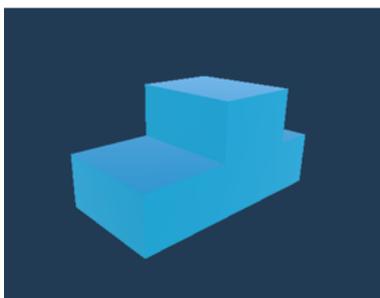


図 3.2 一般車両の形状モデル

### 3.3 提案手法を適用しなかった場合の実行結果

本研究の提案手法を適用せずに行ったシミュレーション結果について説明する。提案手法を適用しなかった場合では、一般車両に目的地の設定を行わず、交差点に到着する際にランダムで進行方向を決定している。マップ全体をまばらに走行し、全体に分散していることが分かった。図 3.3 は提案手法を適用しなかった場合での全体に分散して走行する一般車両を示した画像である。

提案手法を適用しなかった場合におけるマップ 1 でのシミュレーション結果について、実行中に一般車両が各区画をどれだけ通過したのかを示すヒートマップを作成した。ヒートマップから、特に偏りがなく一般車両がマップ全体を走行していたことが分かる。図 3.4 はマップ 1 における提案手法を適用しなかった場合のヒートマップである。赤い区画ほど多くの一般車両が通ったことを示し、緑色の区画ほど通った一般車両が少ないことを示している。

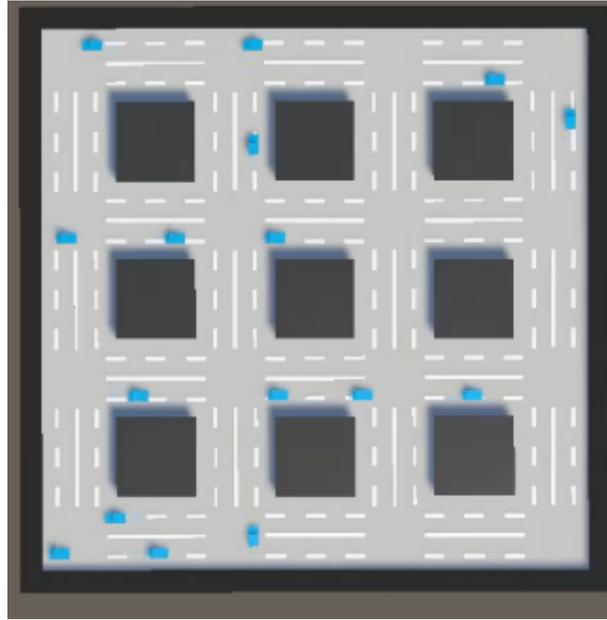


図 3.3 手法を適用しなかった場合での全体に分散して走行する一般車両の画像

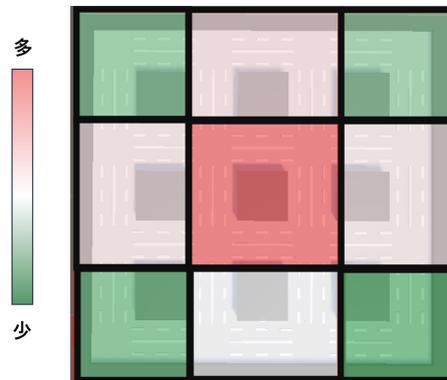


図 3.4 マップ 1 における提案手法を適用しなかった場合の各区画の通過量を示したヒートマップ

### 3.4 提案手法を適用した場合の実行結果

次に、提案手法を適用した状態で行ったシミュレーション結果について説明する。提案手法では注目区画を設定し、一般車両は注目区画を目的地として設定し、ルート選択を行った後に走行する。本研究は注目区画が 2 つの場合と 3 つの場合でのシミュレーションを行った。

### 3.4.1 注目区画が2つの場合

まず，注目区画を2つ設定した状態でシミュレーションを行った．図3.1上に2つの注目区画を設定した．右上の区画を注目区画1と左下の区画を注目区画2とした．図3.5はマップ1上に設定した2つの注目区画を示した画像である．

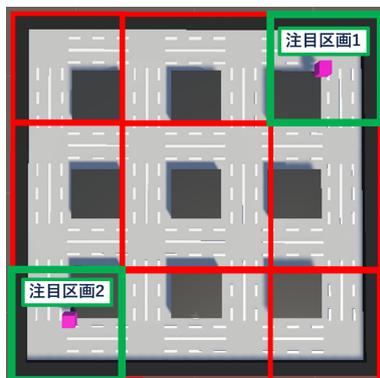


図 3.5 マップ1に設定した2つの注目区画を示した画像

注目区画1の混雑設定の値を10，注目区画2の値を6とした．2つの注目区画とその混雑設定の値の設定後に算出する各区画の車両密度の値は図3.6のようになった．

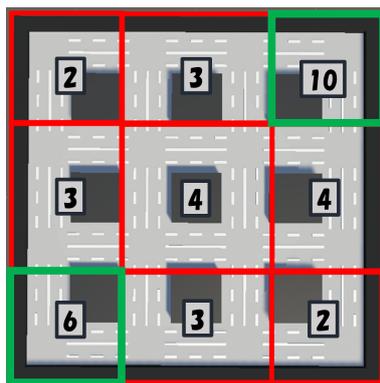


図 3.6 マップ1において2つの注目区画から算出した各区画の車両密度を示した画像

2つの注目区画を設定し，混雑設定と車両密度の算出を行った後に，設定したマップ上でシミュレーションを行った．多くの一般車両はマップ1中央の区画を經由して目的地へ向かっていた．また，少数の一般車両が車両密度の低い右下の区画を通っていることも確認することができた．注目区画が2つの場合においては2つの区画を交互に行き来することから，混雑設定の高い注目

区画 2 を目的地とした一般車両が、混雑設定の低い注目区画 1 の区画に流れるため、2 つの場合においては混雑設定を低くしても多くの一般車両が集まることが確認できた。図 3.7 はマップ 1 において、注目区画が 2 つの場合でのシミュレーション結果を初期状態と 1 分後、3 分後の結果を示した画像である。

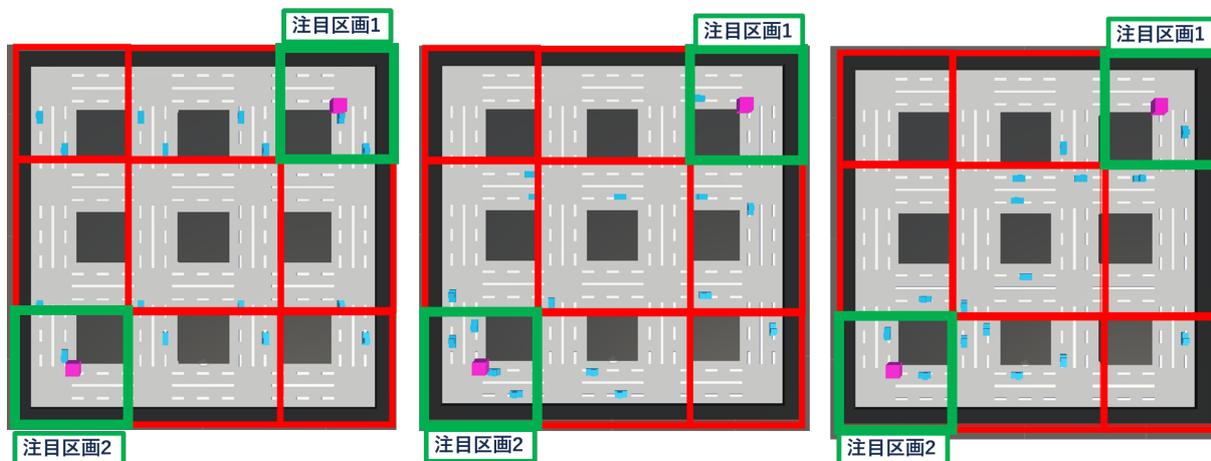


図 3.7 左：初期状態，中央：1 分経過後，右：3 分経過後

一般車両は車両密度の高い区画を積極的に利用して目的地へ向かっていくことを確認できた。図 3.8 は 1 台の一般車両に注目し、設定したルートを可視化した画像である。

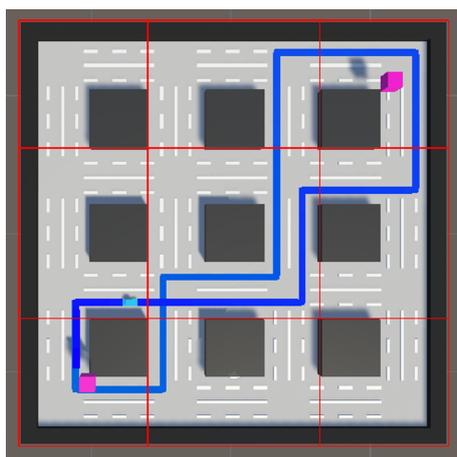


図 3.8 一般車両が設定したルート例

注目区画が 2 つの場合におけるマップ 1 でのシミュレーション結果について、実行中に一般車両が各区画をどれだけ通過したのかを示すヒートマップを作成した。ヒートマップから、マップ中央の区画を通過した一般車両が多いことが分かった。また、車両密度が低い値であった左上の

区画と右下の区画を通過した一般車両が少ないことも分かった。このことから、混雑設定と車両密度に基づいた交通流の調整を行えることが確認できた。図 3.9 はマップ 1 における注目区画が 2 つの場合のヒートマップである。赤い区画ほど多くの一般車両が通ったことを示し、緑色の区画ほど通った一般車両が少ないことを示している。

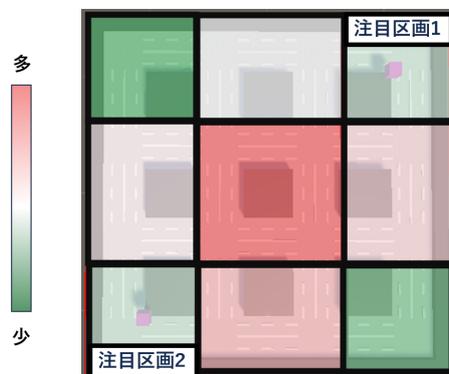


図 3.9 マップ 1 における注目区画が 2 つの場合の各区画の通過量を示したヒートマップ

### 3.4.2 注目区画が 3 つの場合

次に、注目区画を 3 つ設定した状態でシミュレーションを行った。左下の区画を注目区画 1 と右上の区画を注目区画 2 に加えて、右下の区画を注目区画 3 として設定した。

図 3.10 はマップ上に 3 つの注目区画を設定した状態の画像である。

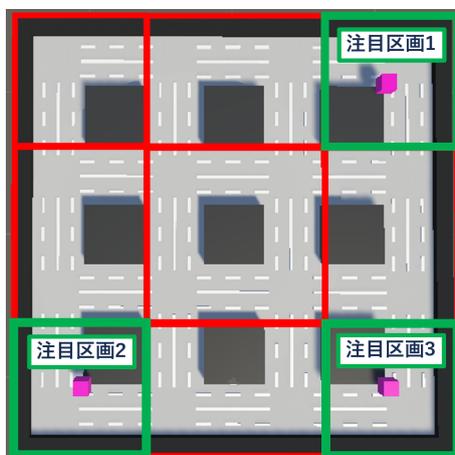


図 3.10 マップ 1 に設定した 3 つの注目区画を示した画像

注目区画 1 の混雑度の値を 10、注目区画 2 の値を 6 とし、注目区画 3 の値を 4 とした。3 つの

注目区画とその混雑設定の後に算出する各区画の車両密度の値は図 3.11 のようになった。

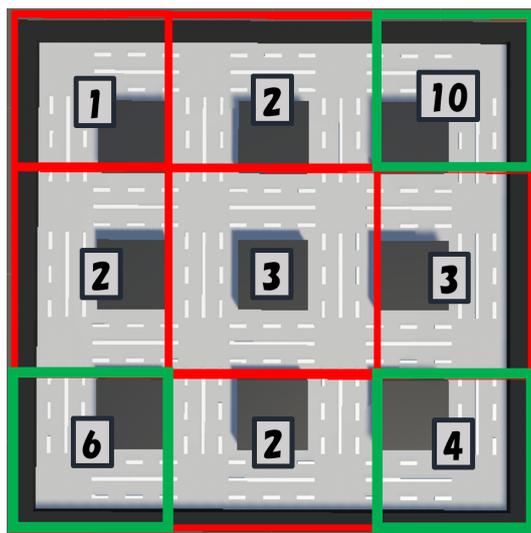


図 3.11 マップ 1 において 3 つの注目区画から算出した各区画の車両密度を示した画像

3 つの注目区画を設定し、混雑設定と車両密度の算出を行った後に、設定したマップ上でシミュレーションを行った。一般車両は 3 つの注目区画間を移動し、注目区画に一般車両が訪れないことはなかった。図 3.12 はマップ 1 において、注目区画が 3 つの場合でのシミュレーション結果の初期状態と 1 分後、3 分後の結果を示した画像である。

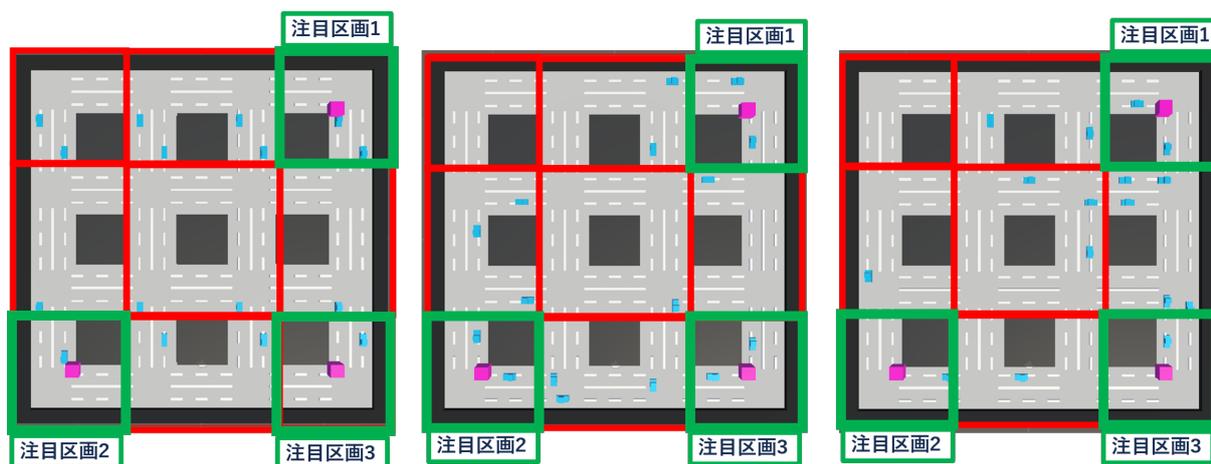


図 3.12 左：初期状態，中央：1 分経過後，右：3 分経過後

注目区画が 3 つの場合でもの一般車両がどのようなルートを設定したのかを確認した。一般車両は注目区画の間にある区画を積極的に利用していることが確認できた。図 3.13 は 1 台の一般車

両に注目し，設定したルートを可視化した画像である．

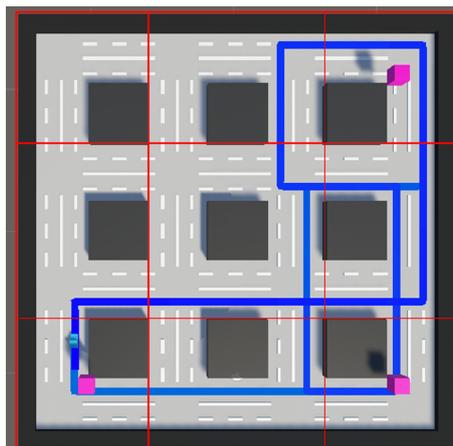


図 3.13 一般車両が注目区画の間にある区画を利用したルート設定の例

注目区画が3つの場合におけるシミュレーションにおいて，実行中に一般車両が各区画をどれだけ通過したのかを示すヒートマップを作成した．ヒートマップから，右上の区画と左下の区画，右下の区画間を一般車両が頻繁に通過していることが分かった．また，注目区画を設定していない左上周辺の区画にも中程度の一般車両が通過していることも分かった．このことから，混雑設定の低い区画にも低確率で一般車両が通ることが分かった．図 3.14 はマップ 1 における注目区画が3つの場合のヒートマップである．赤い区画ほど多くの一般車両が通ったことを示し，緑色の区画ほど通った一般車両が少ないことを示している．

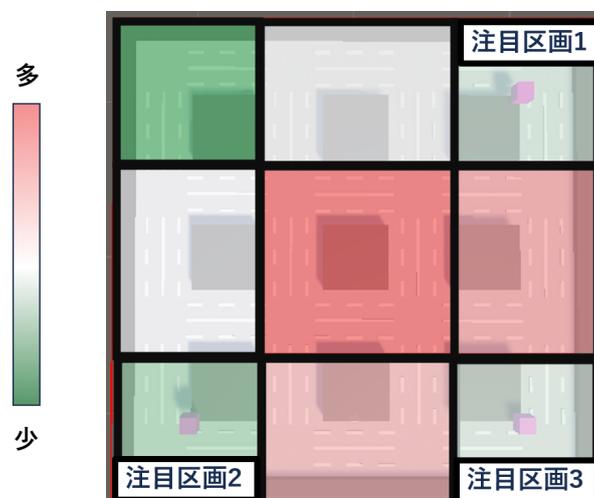


図 3.14 マップ 1 における注目区画が3つの場合の各区画の一般車両の通過量を示したヒートマップ

### 3.5 マップの構造を変更した場合の実行結果

次に、マップの構造を変更した状態でシミュレーションを行った。マップの構造の変更点としては、マップを上部と下部に分裂し、2つの都市があることを想定している点である。(以後このマップをマップ2とする。) マップ2の上部と下部は2つの道路のみで接続しているため、上部と下部を行き来するためにはこの2つの道路を必ず通るようなルートを選択することとなる。このマップを利用し、移動ルートに制限がある状況においても注目区画と車両密度を利用した交通流の調整を行うことができるのかを検証する。図3.15はマップの構造を変更した状態のマップと区画を設定した画像である。

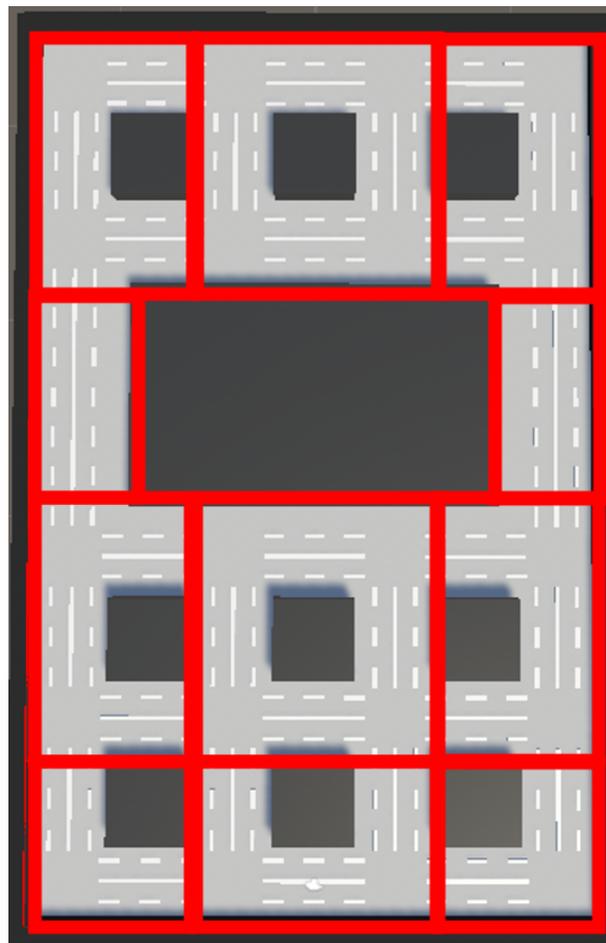


図 3.15 マップ2の構造と区画設定を示した画像

### 3.6 マップ2における提案手法を適用しなかった場合の実行結果

マップ2において提案手法を適用せずに行ったシミュレーション結果について説明する。提案手法を適用しなかった場合ではマップ1と同様に、一般車両に目的地の設定を行わず、交差点に到着する際にランダムで進行方向を決定している。マップ全体をまばらに走行し、全体に分散していることが分かった。図3.16はマップ2における提案手法を適用しなかった場合での全体に分散して走行する一般車両を示した画像である。

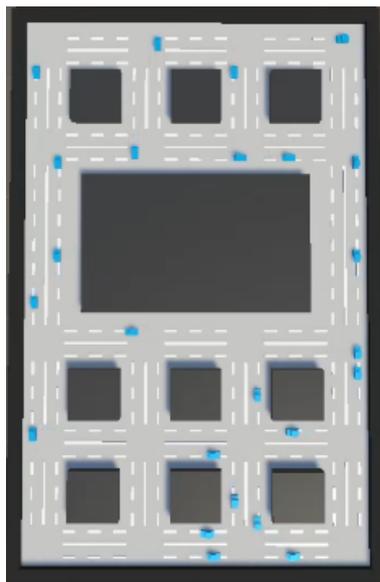


図 3.16 マップ2における手法を適用しなかった場合での全体に分散して走行する一般車両の画像

提案手法を適用しなかった場合におけるマップ2でのシミュレーション結果について、実行中に一般車両が各区画をどれだけ通過したのかを示すヒートマップを作成した。ヒートマップから、上部にも下部にも一般車両が集中していた区画が存在することから、マップ1と同様にマップ全体を一般車両が走行していたことが分かる。図3.17はマップ2における提案手法を適用しなかった場合のヒートマップである。赤い区画ほど多くの一般車両が通ったことを示し、緑色の区画ほど通った一般車両が少ないことを示している。

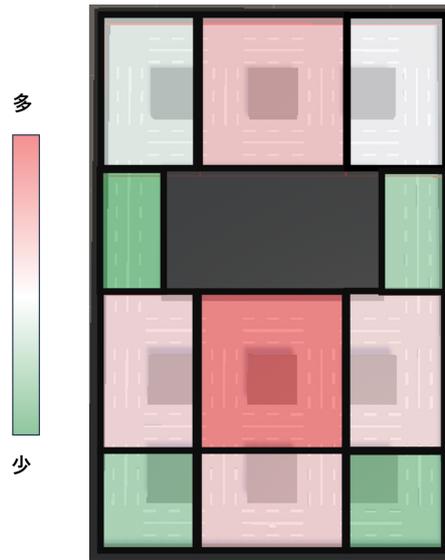


図 3.17 マップ 2 における提案手法を適用しなかった場合の各区画の通過量を示したヒートマップ

### 3.7 マップ 2 における提案手法を適用した場合の実行結果

次に、マップ 1 と同様に提案手法を適用した状態で行ったシミュレーション結果について説明する。マップ 2 においても注目区画を設定し、一般車両は注目区画を目的地を設定し、ルート選択を行った後に走行する。本研究は注目区画が 2 つの場合と 3 つの場合でのシミュレーションを行った。

#### 3.7.1 マップ 2 における注目区画が 2 つの場合のシミュレーション

まず、注目区画を 2 つ設定した状態でシミュレーションを行った。図 3.15 上に左下の区画を注目区画 1 と右上の区画を注目区画 2 とした。図 3.18 はマップ上に 2 つの注目区画を設定した状態の画像である。

マップ 2 では注目区画 1 の周辺よりも、注目区画 2 の周辺が広いことから大きな都市であると仮定し注目区画 1 の混雑設定を高く、注目区画 2 の混雑設定を低く設定した。値としては、注目区画 1 の混雑設定を 6 とし、注目区画 2 の混雑設定を 10 と設定した。2 つの注目区画とその混雑設定の値の設定後に算出する各区画の車両密度の値は図 3.19 のようになった。

2 つの注目区画を設定し、混雑設定と車両密度の算出を行った後に、シミュレーションを行っ

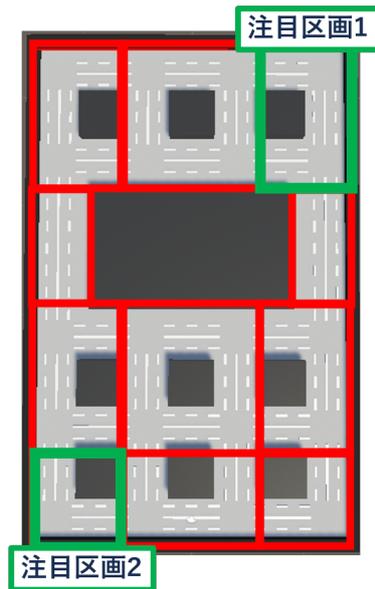


図 3.18 マップ 2 に設定した 2 つの注目区画を示した画像

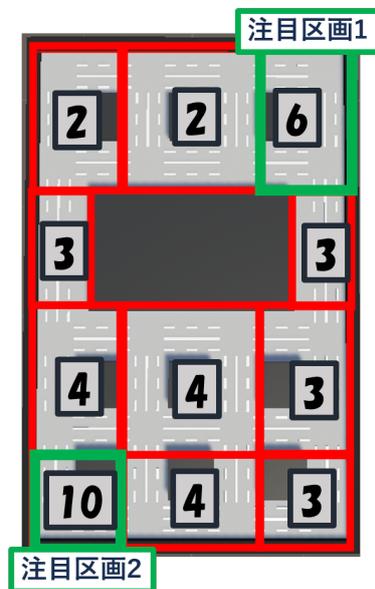


図 3.19 マップ 2 において 2 つの注目区画から算出した各区画の車両密度を示した画像

た．移動ルートの制限がある中でも，一般車両が 2 つの注目区画を目的地として行き来することが確認できた．マップ 2 においても車両密度の高い区画を通る一般車両が多く，少数の一般車両が車両密度の低い区画を通ることも確認できた．このことから，移動ルートに制限がある中でも混雑設定と車両密度に基づいた交通流の調整を行うことができた．図 3.20 はマップ 2 において，注目区画が 2 つの場合でのシミュレーション結果を初期状態と 1 分後，3 分後の結果を示した画



注目区画が2つの場合におけるマップ2でのシミュレーション結果について、実行中に一般車両が各区画をどれだけ通過したのかを示すヒートマップを作成した。ヒートマップから、混雑設定の際に値を低く設定した注目区画1と比較すると値を高く設定した注目区画2周辺の区画を一般車両が多く通過していたことが分かった。また、マップ右下の区画に注目すると、ほかの区画に比べて通過した一般車両が少ないことが確認できた。これは、区画の車両密度が低いため、2つの注目区画を目的地とした際にどちらに向かう場合もマップ2下部中央に位置する車両密度の高い区画を多く選択していたことが要因と考える。これらのことから、混雑設定と車両密度に基づいた交通流の調整を行えることが確認できた。図3.22はマップ1における注目区画が2つの場合のヒートマップである。赤い区画ほど多くの一般車両が通ったことを示し、緑色の区画ほど通った一般車両が少ないことを示している。

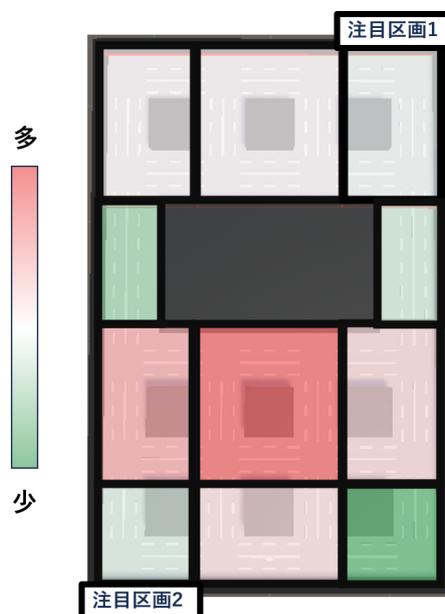


図 3.22 マップ2における注目区画が2つの場合の各区画の一般車両の通過量を示したヒートマップ

### 3.7.2 マップ2における注目区画が3つの場合のシミュレーション

次に、マップ2において注目区画を3つ設定した状態でシミュレーションを行った。右上の区画を注目区画1とし、左下の区画を注目区画2とする。これに加えて、右下の区画を注目区画3として設定した。図3.23はマップ上に3つの注目区画を設定した状態の画像である。

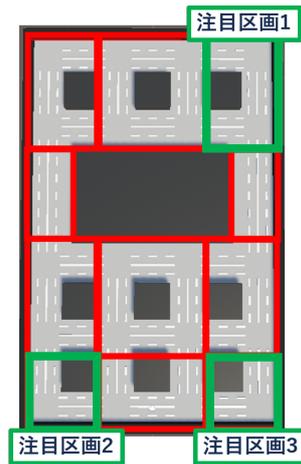


図 3.23 マップ 2 に設定した 3 つの注目区画を示した画像

注目区画 1 の混雑設定の値を 4, 注目区画 2 の値を 10 とし, 注目区画 3 の値を 6 とした. 3 つの注目区画とその混雑設定の後に算出する各区画の車両密度の値は図 3.24 のようになった.

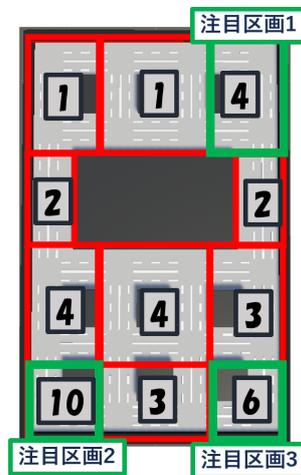


図 3.24 マップ 2 において 3 つの注目区画から算出した各区画の車両密度を示した画像

3 つの注目区画を設定し, 混雑設定と車両密度の算出を行った後に, 設定したマップ上でシミュレーションを行った. 移動ルートに制限がある中でも, 一般車両は 3 つの注目区画間を移動し, 注目区画に一般車両が訪れないことはなかった. また, マップ 1 と同様に注目区画を 3 つにした場合では, 混雑設定の値を大きく設定した注目区画 2 と 3 周辺の区画に一般車両が集中し, 少数の一般車両が混雑設定の値が低い注目区画 1 に向かっていることが確認できた. 図 3.25 はマップ 2 において, 注目区画が 3 つの場合でのシミュレーション結果を初期状態と 1 分後, 3 分後の結果

を示した画像である。

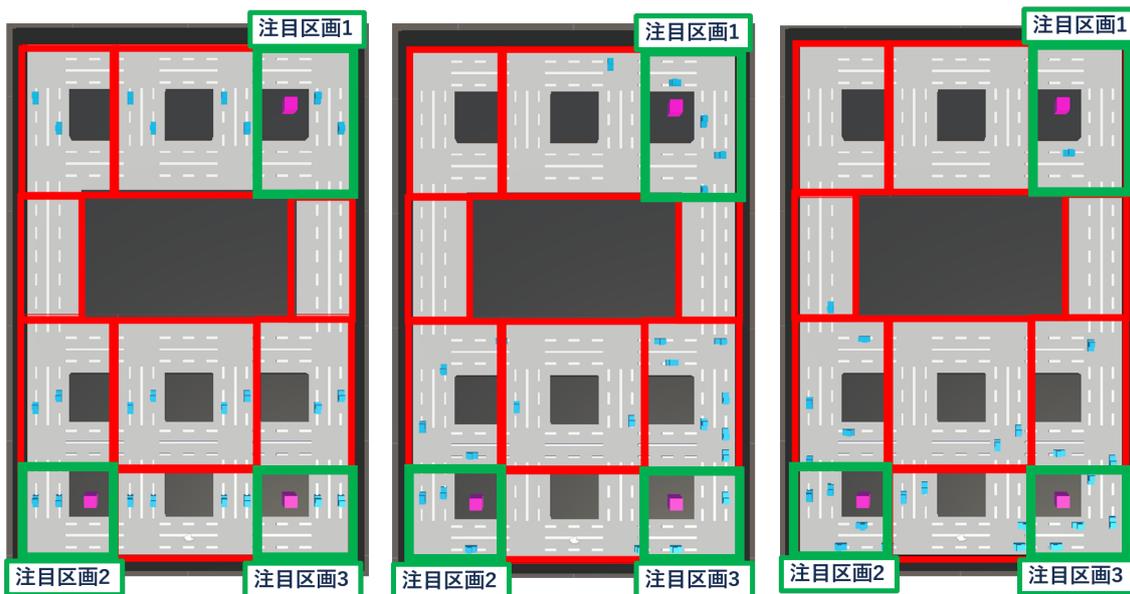


図 3.25 左：初期状態，中央：1分経過後，右：3分経過後

マップ 2 において、注目区画が 3 つの場合に一般車両がどのようなルート設定を行ったのかを可視化した。注目区画が 2 つから 3 つになったことで 3 つの注目区画を考慮してルート設定をしていることが確認できた。図 3.26 は 1 台の一般車両に注目し、設定したルートを可視化した画像である。

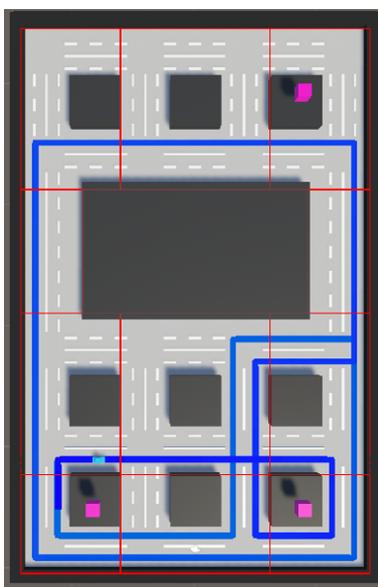


図 3.26 マップ 2 における注目区画が 3 つの場合の一般車両が設定したルートの可視化画像

注目区画が3つの場合におけるシミュレーションにおいて、実行中に一般車両が各区画をどれだけ通過したのかを示すヒートマップを作成した。ヒートマップから、3つの注目区画の中でも値を大きく設定した注目区画2と注目区画3の周辺に一般車両が多く走行していたことが分かった。逆に値を小さく設定した注目区画1の周辺は注目区画2と注目区画3と比較すると少数の一般車両が向かっていた。このことから、移動ルートに制限がある中で、注目区画を3つにした場合でも混雑設定と車両密度に基づいた交通流の調整を行うことができた。また、左上の区画に注目すると、通過台数が少ないことが分かる。これは、左上の車両密度が低くなっていることに加え左下の注目区画2から右下の注目区画3に流れる一般車両が多く、右下から左上の注目区画1に流れる一般車両が多かったため、右側から注目区画1に流れる一般車両が多くなったと考える。図3.27はマップ2における注目区画が3つの場合のヒートマップである。赤い区画ほど多くの一般車両が通ったことを示し、緑色の区画ほど通った一般車両が少ないことを示している。

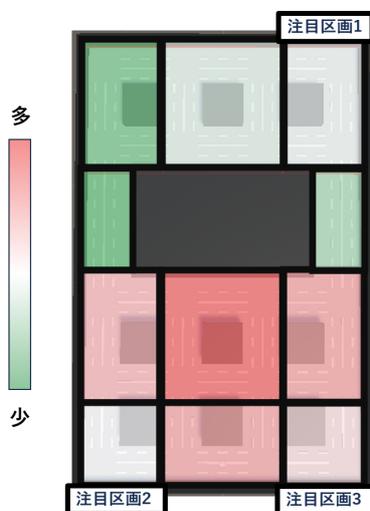


図 3.27 マップ 2 における注目区画が 3 つの場合の各区画の一般車両の通過量を示したヒートマップ

### 3.8 検証結果のまとめと考察

検証として移動に制限がないマップ1と移動に制限が掛かるマップ2にを制作し、シミュレーションを行った。目的地と車両密度を考慮したルート選択を行わない提案手法を適用しなかった場合のシミュレーションと、目的地と車両密度を考慮したルート選択を行う提案手法を適用した場合のシミュレーションを行った。検証の結果として、提案手法を適用した場合にはマップ1と

マップ2共に設定した注目区画と車両密度に基づいた交通流の調整を行うことができた。実際に提案手法を適用しなかった場合の一般車両の流れと提案手法を適用した場合の一般車両の流れは異なり、設定した注目区画周辺を走行するようになった。図 3.28 はマップ1での提案手法を適用しなかった場合と適用した場合の一般車両の流れを示した画像である。

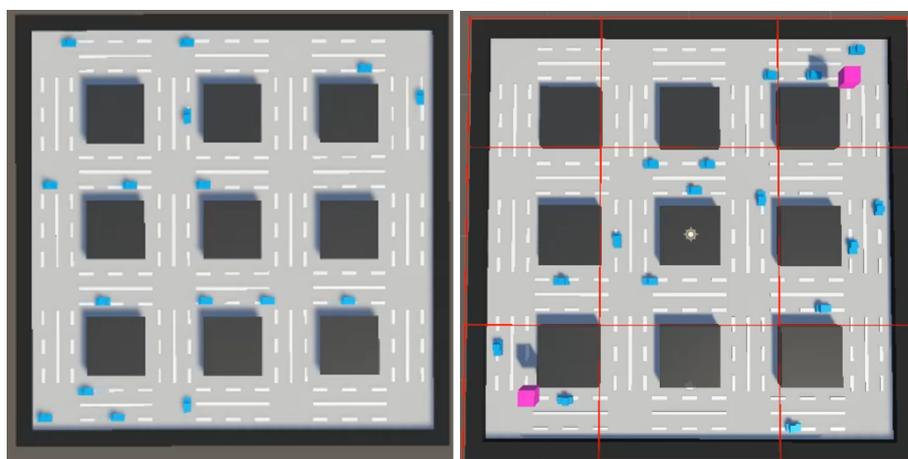


図 3.28 左：提案手法を適用しなかった場合，右：提案手法を適用した場合

注目区画が2つであるシミュレーションでは、2つのマップ共に一般車両が注目区画を目的地として車両密度に基づきながら移動ルートを決めていることを確認することができた。一部の一般車両が値の低い区画を通っていることも2つのマップで確認することができた。これは、第2.3節において車両密度の高い区画を通る確率を高くしていることから、一部の一般車両は低確率で値の低い区画を選択していると考えられる。

注目区画が3つであるシミュレーションでは、注目区画の数が増えたことに応じて一般車両のルートが2つの場合とは異なるルート設定を行い3つの注目区画を考慮したルートを設定していた。図 3.29 はマップ1において注目区画が2つの場合と3つの場合のルート設定の比較画像である。また、3つの場合では、注目区画に設定した混雑設定の値によって一般車両の集中度合いが変化することを確認することができた。特にマップ2においては、値を低く設定したマップ上部の注目区画1に比べ、値を高く設定したマップ下部の区画に一般車両が多く走行していたように交通流の変化が大きかった。これは、第2.2節において、注目区画の混雑設定の値が高い注目区画を目的地とする確率を高く設定していることから、多数の一般車両は注目区画2もしくは3を目的地として設定し、少数の一般車両は注目区画1を目的地として設定していたと考える。また、

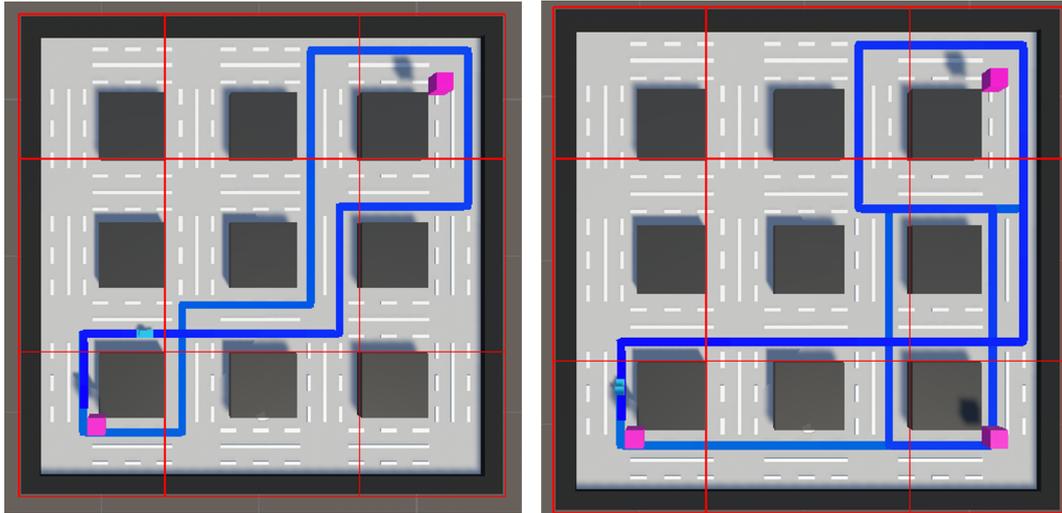


図 3.29 左：注目区画が 2 つの場合のルート，右：注目区画が 3 つの場合のルート

マップ 2 では移動ルートに制限があることから，注目区画 1 に到着するまでに時間が掛かっている一般車両が一部存在すると考える．この 2 つのことが要因として，マップ 2 では特に交通流の変化が大きくなったと考える．

検証の結果から本研究の提案手法を利用した場合には，移動ルートに制限がないマップと移動ルートに制限があるマップにおいては注目区画と混雑設定に基づいた一般車両の交通流の調整を行うことができた．このことから，比較的多くのルートからたどり着けるようなマップや目的地にたどり着くまでの移動ルートが少ないようなマップにおいては本研究の提案手法を利用することによって交通流の調整を行うことができると考える．しかし，注目区画が 2 つの場合においては，混雑設定に関係なく一般車両が 2 つの注目区画を交互に目的地とするため混雑設定の値を低く設定した注目区画にも多くの一般車両が向かってくる現象が起発生する．実際に，マップ 1 において値を低く設定した注目区画 2 に一般車両が集中する場面があった．このことから，注目区画が 2 つの場合においては，車両密度によるルートの制御は可能ではあるが混雑設定に基づいた集中度合いの調整は難しいと考える．図 3.30 はマップ 1 において注目区画が 2 つの際に注目区画 2 に一般車両が集まった際のシミュレーション中の画像である．

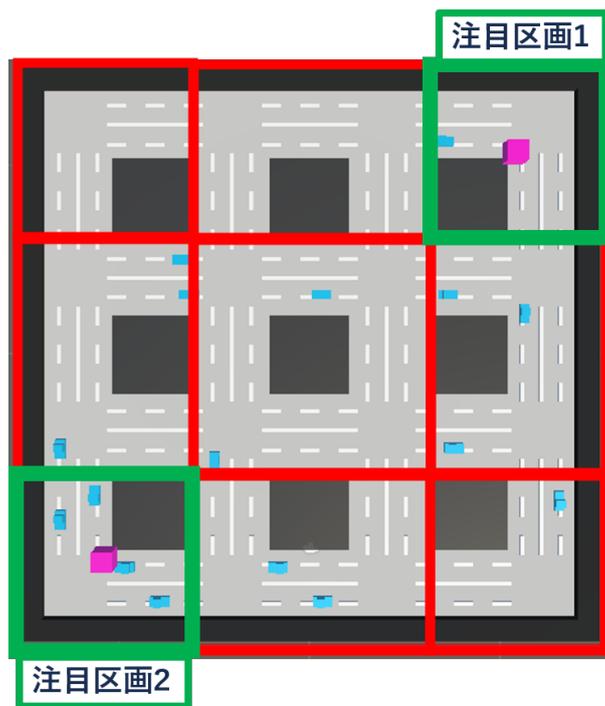


図 3.30 マップ1において混雑設定を低くした注目区画2に一般車両が集中している場面の画像

## 第 4 章

### 議論

ここでは検証結果と結果に基づいた提案手法の特色と課題について述べる。

## 4.1 検証結果について

検証結果から、移動ルートに制限がないマップと移動ルートに制限があるマップにおいて混雑設定に基づいた交通流の変化を確認することができたことから、注目区画と混雑設定に基づいた一般車両の交通流の調整を行うことができた。しかし、目区画が2つの場合においては、混雑設定に関係なく一般車両が2つの注目区画を交互に目的地とするため混雑設定に基づいた集中度合いの調整は難しいことが分かった。

## 4.2 提案手法の特色

本研究の提案手法を利用することによって、比較的多くのルートからたどり着けるようなマップや目的地にたどり着くまでの移動ルートが少ないようなマップにおいては本研究の提案手法を利用することによって交通流の調整を行うことができると考える。このようなマップにおいては、一般車両の追加や消去を行うことなく混雑設定と車両密度に基づいて交通流の調整を行うことができるため、プレイヤーの視界による制限を受けることなく調整が可能になると考える。一般車両の追加や消去を行っていないことから、調整による不自然な一般車両の出現や消滅を防ぐことができる。また、交通量という観点において、混雑設定を行うことでその区画に向かう一般車両の量を調整することができるため、現実世界の交通量を模倣する場合、都市部の区画の混雑設定を高くし、地方部の区画の混雑設定を低くすることによって、模倣が可能であると考えられる。それ以外にも、混雑設定を変えることによって様々な環境に基づいた調整が可能であると考えられる。しかし、現状の提案手法では、簡易的な設定によるシミュレーションでの検証のみにとどまっているため、実際のオープンワールドレースゲームに対して利用する際には、一般車両の最高速度や加速度といった詳細な設定や坂道や信号などによる影響を考慮する必要がある。これらのことから、本研究で提案した手法は複数人で遊ぶようなオープンワールドレースゲームにおいても、一般車両の交通流を想定するものに調整するシステムの基礎として貢献できると考える。

### 4.3 提案手法の課題

本研究の提案手法の課題として、混雑設定を行った注目区画自体の交通流の調整と注目区画が2つの場合における調整の改善がある。混雑設定を行った注目区画自体の交通流の調整という観点では、現状の提案手法では、注目区画はあくまでも目的地となっているため、一般車両がその区画に留まることなく次の注目区画を目的地として進行してしまうため、注目区画自体の交通量は周辺と比較すると低くなる傾向があった。そのため、注目区画の交通流に関しては設定による調整ができていないため、目的地到着後に一般車両が一定時間注目区画に留まるような調整を行う必要があると考える。注目区画が2つの場合における調整という観点では、本研究の検証において、注目区画が2つの場合においては、2つの注目区画を交互に行き来してしまうことから、混雑設定の影響が出にくいという結果となった。実際にオープンワールドレースゲームにて本研究の提案手法を利用しようとした場合に調整を行いたい街が2つである可能性も十分あるため、注目区画が2つの場合においても混雑設定に基づいた調整ができるような改善が必要であると考えられる。

## 第 5 章

## まとめ

本研究では、オープンワールドレースゲームに登場する一般車両に着目し、それらが形成する交通流に着目した。一般車両が形成する交通流は現実世界の自動車が形成する交通流と異なっていることから景観の一部としての役割に問題があるという点に対して、混雑度を用いたオープンワールドレースゲームに登場する一般車両の交通流動的調整手法を提案した。

本研究の提案手法としては、注目するマップに区画という範囲を設定する。その区画の中でも調整を行いたい区画を注目区画とし、その区画にどれだけ一般車両が集中するのかを示す混雑設定を行う。この注目区画と混雑設定を基に注目区画以外の区画の車両密度を算出する。一般車両は注目区画と算出した車両密度の値を基に一般車両はルート選択を行う。ルート選択は主に交差点から進行方向を選択し、目的地までのルートを設定する。ルート選択の際には目的地に接近することができる進行方向に選択肢を絞り、絞ったルートから車両密度を基にルート選択を行う。注目区画の混雑設定と車両密度を基にした一般車両のルート選択を行うことで、設定に基づいた交通流の調整を行うような手法を提案した。

検証として特に移動に制限のないマップ1と移動に制限が掛かるマップ2にを制作し、各マップにおいて注目区画が2つの場合と3つの場合のシミュレーションを行った。検証の結果としては、マップ1とマップ2共に、注目区画が2つの場合、3つの場合共に設定した注目区画と車両密度に基づいた交通流の調整を行うことができた。3つの場合では注目区画の混雑設定の影響が注目区画が2つの場合に比べ大きく交通流に出るといった結果となった。また、移動制限のあるマップ2においてもマップ1と同様に調整ができたことから移動ルートに制限がある中でも提案手法を利用して交通流の調整が行うことができることが分かった。しかし、注目区画が2つの場合においては、一般車両が2つの注目区画を交互に目的地とするため混雑設定の値を低く設定した注目区画にも多くの一般車両が向かってくる現象が発生するため、車両密度によるルートの制御は可能ではあるが混雑設定に基づいた集中度合いの調整は難しいと考える。これらのことから本研究の提案手法を利用することで比較的多くのルートからたどり着けるようなマップや目的地にたどり着くまでの移動ルートが少ないようなマップにおいては一般車両の追加や消去を行うことなく混雑設定と車両密度に基づいて交通流の調整できるため、プレイヤーの視界による制限を受けることなく調整が可能になること、混雑設定を行うことでその区画に向かう一般車両の量を調整することができるため、混雑設定を変えることによって様々な環境に基づいた調整が可能になる。

しかし、現状の提案手法では、簡易的な設定によるシミュレーションでの検証のみにとどまっているため、実際のオープンワールドレースゲームに対して利用する際には、一般車両の最高速度や加速度といった詳細な設定や坂道や信号などによる影響を考慮する必要がある。これらのことから、本研究で提案した手法は複数人で遊ぶようなオープンワールドレースゲームにおいても、一般車両の交通流を想定するものに調整するシステムの基礎として貢献できると考える。

今後の課題としては、混雑設定を行った注目区画自体の交通流の調整と注目区画が2つの場合における調整の改善がある。混雑設定を行った注目区画自体の交通流の調整という観点では、現状の提案手法では、注目区画はあくまでも目的地となっているため、一般車両がその区画に留まることなく次の注目区画を目的地として進行してしまう。そのため、注目区画の交通流に関しては設定による調整ができていないため改善が必要である。注目区画が2つの場合における調整という観点では、本研究の検証において、注目区画が2つの場合においては、2つの注目区画を交互に行き来してしまうことから、混雑設定の影響が出にくいという結果となった。実際にオープンワールドレースゲームにて本研究の提案手法を利用しようとした場合に調整を行いたい街が2つである可能性も十分あるため、注目区画が2つの場合においても混雑設定に基づいた調整ができるような改善が必要であると考えられる。

# 謝辭

本論文を執筆するにあたり、アドバイスや指導をして頂いた渡辺大地先生、阿部雅樹先生並びに指導を頂いた多くの先生方には大変お世話になりました。特に渡辺大地先生と阿部雅樹先生は私が研究の方向性を決めるにあたって他の学生に比べて大きく遅れてしまったことから、進捗が遅れていたにも関わらず、最後まで付き添って頂きました。おかげさまで修士論文の執筆までたどり着くことができました。また、学会発表の際にも論文の添削や発表に関するアドバイスなど細かく指導していただいたおかげで何事もなく発表を行うことができました。

渡辺大地先生には研究室に所属する前からプロジェクト演習や先端メディアなどの様な研究以外の様々な場面でもお世話になりました。学習の面では、プログラミングの知識がゼロの状態です不安だったのですが、授業や演習の中で基礎的な部分から分かりやすく指導していただいたおかげで研究でも利用できるまで習得することができました。研究においても研究に対する取り組み方のアドバイスを頂いたり、今回取り上げたオープンワールドレースゲームについて意見交換に付き合っただけなど様々な場面でお世話になりました。学部1年から修士2年までの長い間、授業や研究にて様々なサポートをしていただいた渡辺大地先生には大変感謝しています。

阿部雅樹先生には研究室に所属してから研究内容に関する議論だけでなく人にわかりやすい発表の仕方や論文執筆の際の細かいルールなど研究以外の場面で多くのアドバイスをいただきました。今回の研究でも、オープンワールドレースゲームを普段遊ばない人の視点からの意見やその視点の人に伝えるためのアドバイスを多くいただきました。ありがとうございました。

研究室のメンバーや卒業していった研究室の先輩方にも感謝しています。私が研究に関することで悩んでいるときの相談相手になってもらったこと、研究以外でも食事や雑談に付き合ってくれたことで無理することなく研究を続けることができました。卒業していった研究室の先輩方には研究に取り組むにあたって体験談やアドバイスをいただきました。ありがとうございました。

私の友人にも様々な場面で助けてもらいました。普段の何気ない会話や集まり、ゲームや遊びに付き合ってくれたことで、息抜きになったり時にはいい刺激になったりと研究を続けるにあたってこのような時間は私の大事な時間でした。ありがとうございました。

最後に、私を一番近くで見守ってくれていた家族には感謝してもしきれないくらいに多くの場面で支えていただきました。大学院への進学を快く受け入れてくれたことで研究を続けることができ、多くのことを学ぶことができました。おかげさまで学部にいる時よりも成長し、多くのこ

とを経験することができました。それだけではなく、毎朝早く起きて朝食の準備をしてくれたことや、落ち込んでいるときには話を聞いて励ましてくれたこと、たまに外出に付き合ってくれたりとそれ以外でも多くの場面で23年間という長い間、私をサポートしてくれました。私が充実した環境で健康な状態で研究と論文執筆に取り組むことができたのは家族があってのことです。本当にありがとうございました。

皆様、本当にありがとうございました。

## 参考文献

- [1] 高村大輝, 藤森立, 須賀聖, 山田悠司, 井原史渡, 林健, 栗原聡. 交通流円滑化を目的とした信号機オフセット制御法の提案. 人工知能学会全国大会論文集, Vol. JSAI2022, p. 3K3GS1002, 2022.
- [2] 檀隼人, 岡本僚太, 畑中健志, 向井正和, 飯野穰. マクロ交通流モデルに基づくサイバーフィジカル最適信号機制御とミクロ交通シミュレータを用いた検証. 計測自動制御学会論文集, Vol. 56, No. 3, pp. 106–115, 2020.
- [3] Electronics Arts. Electronic arts ホームページ- 公式 ea サイト. <https://www.ea.com/ja-jp>. 参照: 2023-11-16.
- [4] Electronics Arts. Need for speed heat. <https://www.ea.com/ja-jp/games/need-for-speed/need-for-speed-heat>. 参照: 2023-7-27.
- [5] Ubisoft Entertainment SA. Ubisoft. <https://www.ubisoft.com/en-us/>. 参照: 2023-11-16.
- [6] Ubisoft Entertainment SA. The crew 2. <https://www.ubisoft.com/ja-jp/game/the-crew/the-crew-2>. 参照: 2023-7-27.
- [7] 大柳剣汰, 湯村翼. Toshiate: 実在都市をコースとした都市当てレースゲーム. 情報処理学会インタラクティブ論文集 2023, pp. 331–333, 2023.
- [8] 国土交通省. Plateau [プラトー] — 国土交通省が主導する、日本全国の 3d 都市モデルの整備・オープンデータ化プロジェクト. <https://www.mlit.go.jp/plateau/>. 参照: 2023.11.23.
- [9] 華帆宮本, 康央川合. 大規模オープンデータを用いたレースゲームの開発. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム論文集, 第 2021 巻, pp. 77–80, aug 2021.
- [10] OpenStreetMap. Openstreetmap. <https://www.openstreetmap.org/about>. 参照: 2023.11.23.
- [11] 藤井聖也, 中島智晴. カーレーシングゲームにおける適応型ファジィシステム. 日本知能情報ファジィ学会 ファジィ システム シンポジウム 講演論文集, Vol. 24, pp. 113–113, 2008.
- [12] 義弘三浦, 絵美子鈴木, 玉真昭男. 物理モデルを使用したドライビングシミュレータ及び運転評価システムの開発. Technical Report 109(2008-CG-133), 静岡理科大学大学院, 静岡理科大学, 静岡理科大学, oct 2008.

- [13] 大貴萱場, 芳明宮下. Vr レースゲームでの動的なトンネリングによる速度感と酔いの調査. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム論文集, 第 2021 巻, pp. 208–213, aug 2021.
- [14] 高友康, 笈康明. 大爆走! オーディオレーシング: 音楽のパンニングを通した方向提示によるレーシング型オーディオゲームの提案. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム論文集, 第 2021 巻, pp. 151–156, aug 2021.
- [15] 達也石垣, グラントピチ, 侑美瀨園, 宏能地, 一郎小林, 祐介宮尾, 大也高村. レーシングゲーム実況生成. Technical Report 8, 産業技術総合研究所, 産業技術総合研究所, 産業技術総合研究所/お茶の水女子大学, 産業技術総合研究所/ LeapMind Inc., 産業技術総合研究所/お茶の水女子大学, 産業技術総合研究所/東京大学, 産業技術総合研究所, sep 2021.
- [16] 山本大樹, 西成活裕. 速度制御によるボトルネックの交通流量改善. 交通流と自己駆動粒子系シンポジウム論文集, Vol. 21, , 2015.
- [17] 交通工学研究会, 編集委員会, 交通工学ハンドブック編集小委員会. ボトルネック交通 - 工学用語集. <http://glossary.jste.or.jp/%E3%83%9C%E3%83%88%E3%83%AB%E3%83%8D%E3%83%83%E3%82%AF/>. 参照: 2022.6.30.
- [18] 駒田和史, 増倉秀一, 長谷隆. 重力を考慮した交通モデルとサグ部での渋滞. 交通流と自己駆動粒子系シンポジウム論文集, Vol. 23, , 2008.
- [19] ZUEICH チューリッヒ保険会社. 高速道路の渋滞の原因、サグ部とは? <https://www.shutoko.jp/ss/shutokonews/archive/master/201809.html>. 参照: 2022.6.30.
- [20] 加藤泰貴, 円山琢也. ミクロ交通シミュレータを用いた自動運転車両混在を想定した交通流分析. 交通工学研究発表会論文集, Vol. 42, pp. 615–621, 2022.
- [21] ZUEICH チューリッヒ保険会社. 自動運転車とは。自動運転技術（システム）について. <https://www.zurich.co.jp/car/useful/guide/cc-what-is-autonomous-driving/>. 参照: 2022.7.12.
- [22] 岡野舜, 高山宇宙, 三浦清洋, 森本章倫. レベル4の自動運転車導入における乗降環境を考慮した街路空間に関する研究. 交通工学論文集, Vol. 6, No. 2, pp. 105–112, 2020.
- [23] 伊藤颯太, 佐野可寸志, 鳩山紀一郎, 伊藤潤, 甲斐慎一朗. 冬期事故リスクを考慮した交通シ

- ミュレーション分析. 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 77, No. 5, pp. 1067–1076, 2022.
- [24] 藤田素弘, 西田竜之介. 台風豪雨時での自動車帰宅困難の要因分析と交通シミュレーションによる対策評価. 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 75, No. 5, pp. 535–544, 2019.
- [25] 福本泰己, 三浦創, 栗城洋, 岡田隆, 新徳顕大. 交通流 simulation を用いた実用燃費予測および改善手法の開発. 自動車技術会論文集, Vol. 54, No. 1, pp. 187–193, 2023.
- [26] 小林悠人, 伊呂原隆, 関昌之, 井上法和, 末岡知之. 川崎市の道路沿道における大気環境の改善を目的とした交通流シミュレーション. 日本経営工学会論文誌, Vol. 71, No. 4, pp. 173–184, 2021.
- [27] 高橋徹, 阿部和規, 藤井秀樹, 伊加田恵志, 松平正樹. 動的ハイブリッド交通流シミュレーションモデルの開発と高速道路の実データを用いた検証. 日本シミュレーション学会論文誌, Vol. 13, No. 1, pp. 37–47, 2021.
- [28] Unity のリアルタイム開発プラットフォーム —3D/2D, VR/AR のエンジン. Unity のリアルタイム開発プラットフォーム — 3D/2D、VR/AR のエンジン. <https://unity.com/ja>. 参照: 2023.8.05.
- [29] Unity Documentation. UnityEngine.Random - Unity スクリプトリファレンス. <https://docs.unity3d.com/ja/2021.2/ScriptReference/Random.html>. 参照: 2023.8.05.
- [30] George Marsaglia. Xorshift rngs. *Journal of Statistical Software*, Vol. 8, No. 14, p. 1 – 6, 2003.
- [31] しゅん. 重み付けの確率計算アルゴリズム. <https://2dgames.jp/weighted-pick/>. 参照: 2023.8.05.
- [32] M. Bando, K. Hasebe, A. Nakayama, A. Shibata, and Y. Sugiyama. Dynamical model of traffic congestion and numerical simulation. *Phys. Rev. E*, Vol. 51, pp. 1035–1042, Feb 1995.

# 発表実績

## ポスター発表

1. 柘元勇輝, 阿部雅樹, 渡辺大地, 交通シミュレーションにおける交通流の動的調整, NICOGRAPH 2022, 2022
2. 柘元勇輝, 阿部雅樹, 渡辺大地, オープンワールドレースゲームにおける一般車両の交通流動的調整に関する研究, 映像表現・芸術科学フォーラム 2023, 2023

## 口頭発表

1. 柘元勇輝, 阿部雅樹, 渡辺大地, オープンワールドレースゲームにおける一般車両の交通流動的調整に関する研究, DiGRA Summer Conference 2023, 2023