

卒業研究論文

マルチエージェントモデルを用いた交差点における
自動車交通流のシミュレーション

今井 陸央

中央大学工学部情報工学科 鳥海研究室

2021年3月

あらまし

江ノ島から鎌倉方面の国道 134 号線は週末になると慢性的に渋滞が発生している。Google Maps の交通状況によると、七里ガ浜の行合橋交差点が渋滞のボトルネック箇所であることが分かった。

そこで本研究では、まず行合橋交差点で車の動きや歩行者の動きを調査をする。次に調査したデータをもとにマルチエージェントモデルで交差点をモデル化し、シミュレーションを行う。その後は様々な条件を変えてシミュレーションを行い、渋滞緩和策を検討する。

キーワード：マルチエージェントモデル, 渋滞

目次

第1章 はじめに	1
第2章 現地調査	2
2.1 対象地域の選定	2
2.2 現地調査の概要	5
2.2.1 行合橋交差点の概要	5
2.2.2 計測内容	5
2.2.3 実測結果	7
第3章 マルチエージェントモデル	14
3.1 マルチエージェントモデルとは	14
3.2 S4 Simulation System 概要	14
第4章 シミュレーションの設定	15
4.1 行合橋交差点の設定	15
4.2 信号機の設定	17
4.3 車の設定	18
4.4 歩行者の設定	22
第5章 渋滞緩和策の検討	24
5.1 パターン A：東西方向の歩行者信号の青信号を 97 秒から 14 秒に短くした場合	25
5.2 パターン B：東方向の車線に左折レーンを設置した場合	25
5.3 パターン C：歩行者信号機を無くして、地下通路を設置した場合	25
5.4 実行結果	26
第6章 おわりに	28
6.1 まとめ	28
6.2 今後の課題	28
謝辞	29
参考文献	30

第1章 はじめに

2020 年は新型コロナウイルスの影響により私たちの生活は大きく変化した。身近な例として、在宅ワークやオンライン授業の普及により、公共交通機関を利用する人は減少したことが挙げられる。緊急事態宣言が発令された 4 月には、密になりにくい屋外でリフレッシュすることを目的としたせいか、神奈川県藤沢市の江ノ島に大勢の人々が集まった。その際に移動手段は公共交通機関ではなく、各自が所有する車もしくはレンタカーを利用する人が多かったためか、国道 134 号線は大渋滞を起し、テレビでも報道された。しかし、この報道以前から国道 134 号線、特に江ノ島から鎌倉方面は片側一車線ということもあり、毎週末になると慢性的に渋滞が発生している。この道路の特徴である代替経路が非常に少ないことが渋滞の主な原因であると考えられるだろう。

そこで本研究では現地調査を行い、マルチエージェントモデルを用いて渋滞のボトルネック箇所をモデル化し、シミュレーションを行う。その後は条件を変えて比較し、渋滞緩和策を検討していく。

第2章 現地調査

2.1 対象地域の選定

本研究では、江ノ島から鎌倉方面の国道134号線を対象とする。現地調査を行う前に対象地域を絞り込むために、時間帯を変えてGoogle Mapsの道路交通状況から渋滞のボトルネック箇所を探す。



図2.1 7月10日(金)8時52分



図2.2 7月10日(金)11時00分



図2.3 7月10日(金)13時50分



図2.4 7月10日(金)19時37分

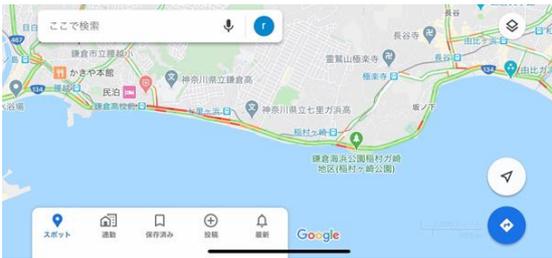


図 2.5 7月12日(日) 8時52分



図 2.6 7月12日(日) 13時50分



図 2.7 7月12日(日) 16時50分



図 2.8 7月12日(日) 19時37分

図 2.1~2.4 は 2020 年 7 月 10 日 金曜日 (天気はくもり後雨), 図 2.5~2.8 は 2020 年 7 月 12 日 日曜日 (天気はくもり時々晴れ) の鎌倉方面の国道 134 号線の道路交通状況である。上記の図より, やはり平日より休日のほうが混雑しているのが分かる。そこで, 今回の現地調査は七里が浜の行合橋交差点で行うことにした (図 2.9, 図 2.10)。

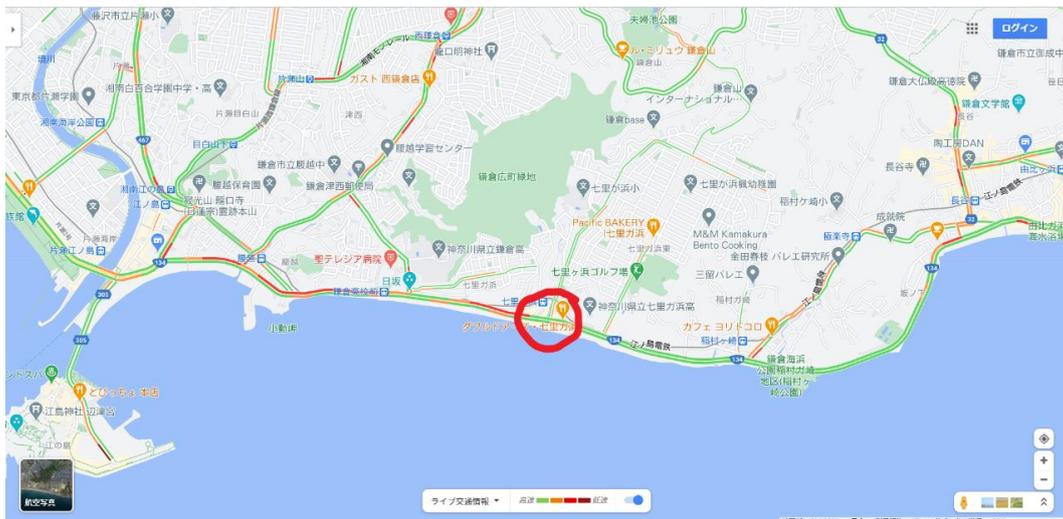


図 2.9 調査対象の行合橋交差点 (赤丸)

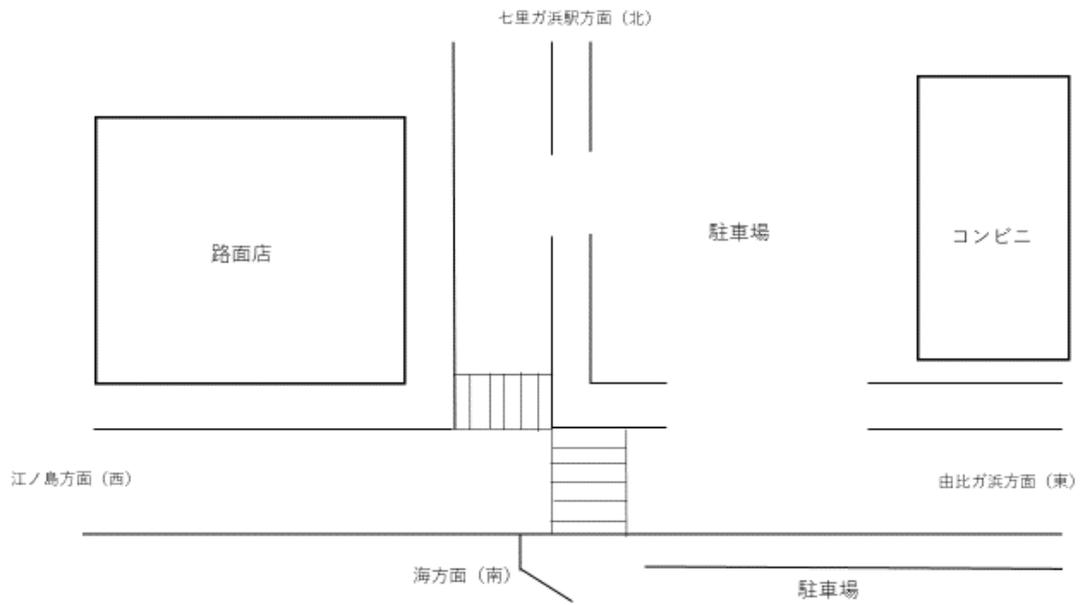


図 2.10 行合橋交差点

2.2 現地調査の概要

2.2.1 行合橋交差点の概要

行合橋交差点は、東から西に直進車線と右折車線、西から東に左折・直進車線、北から南に左折・右折車線で構成された丁字路である。横断歩道は東西方向、丁字の右側に南北方向にL字型に設置されている。また、図 2.10 より東にはコンビニ、南にはカフェが併設された大きな駐車場、西には美容院や飲食店などの路面店が隣接している。さらに、この交差点の北西方向には江ノ島電鉄線の七里ガ浜駅があるため、交差点周辺の人通りは多い。

2.2.2 計測内容

以下に計測した内容を記す。

1. 信号の周期

- ・自動車用信号（南方向，東西方向）
- ・歩行者用信号（南北方向，東西方向）

2. 自動車

- ・東から西に走行し，直進する台数
- ・東から西に走行し，右折レーンからコンビニに右折して入る台数
- ・東から西に走行し，右折レーンで右折する台数
- ・西から東に走行し，信号機地点で左折する台数
- ・西から東に走行し，信号機地点で直進する台数
- ・西から東に走行し，コンビニの出入り口地点で左折する台数と停車時間
- ・西から東に走行し，コンビニの出入り口地点で直進する台数
- ・北から南に走行し，信号機地点で右折する台数
- ・北から南に走行し，信号機地点で左折する台数
- ・北から南に走行し，コンビニの出入り口地点で左折する台数
- ・北から南に走行し，コンビニ出入り口地点で直進する台数
- ・コンビニの駐車場滞在時間
- ・コンビニで駐車した後，七里ガ浜駅方面の出口から右折する台数

- ・コンビニで駐車した後，七里ガ浜駅方面の出口から左折する台数
- ・コンビニで駐車した後，海方面の出口から右折する台数
- ・コンビニで駐車した後，海方面の出口から左折する台数
- ・10分間で交差点に到着する台数（各方向）

3. 横断歩道を渡る歩行者

- ・北から南に横断する歩行者の人数
- ・南から北に横断する歩行者の人数
- ・西から東に横断する歩行者の人数
- ・東から西に横断する歩行者の人数

2.2.3 実測結果

数日にわたって計測を行ったため、時系列にまとめる。

実測日時：2020年7月18日（土） 18時開始

天候：曇り時々雨

内容：信号の周期を計測（表 2.1, 表 2.2）

表 2.1 自動車用信号（単位：秒）

西方向		東方向		南方向	
上矢印	111				
青	5	青	108	青	18
黄	3	黄	3	黄	3
赤	21	赤	29	赤	119
合計	140	合計	140	合計	140

表 2.2 歩行者用信号（単位：秒）

	東西方向	南北方向
青	97	17
赤	43	123
合計	140	140

また、東西方向の横断歩道は幅 4m、長さ 8m であり、歩行者が横断するのに平均で 8 秒かかる。南北方向の横断歩道は幅 4m、長さ 10m であり、歩行者が横断するのに平均で 10 秒かかる（図 2.11）。

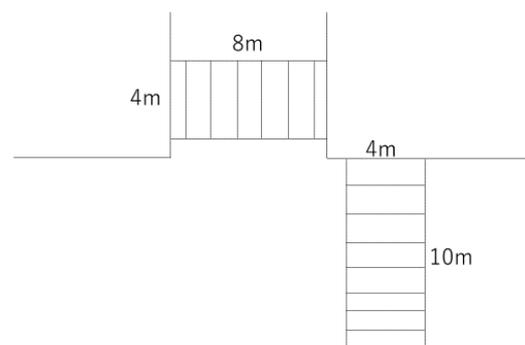


図 2.11 横断歩道の幅，長さ

実測日時：2020年9月20日（日） 15時開始

天候：曇り

内容：信号1周期（青→赤→青）の車の累計台数を5周期分計測（表2.3~2.7）

表2.3 東から西に走行する車の累計台数（単位：台）

	1周期目	2周期目	3周期目	4周期目	5周期目	合計	平均	%
直進車	19	19	26	23	20	107	21.4	93.86
右折車	0	0	0	0	1	1	0.2	0.88
コンビニに右折で 入る車	2	1	0	3	0	6	1.2	5.26
合計	21	20	26	26	21	114	22.8	100

上記の表より、右折レーンに進む車と直進レーンに進む車の分岐の割合は、

$7 \div 114 \times 100 = 6.14 \div 6\%$ （右折レーン）、

$107 \div 114 \times 100 = 93.86 \div 94\%$ （直進レーン）となる。

また、右折レーンに進んだ車のうち、交差点で右折する車とコンビニに右折する車の割合は、

$1 \div 7 \times 100 = 14.29 \div 14\%$ （交差点で右折する車）、

$6 \div 7 \times 100 = 85.71 \div 86\%$ （コンビニに右折する車）となる。

表2.4 西から東（信号機地点）に走行する車の累計台数（単位：台）

	1周期目	2周期目	3周期目	4周期目	5周期目	合計	平均	%
直進車	23	23	29	23	24	122	24.4	90.37
左折車	4	4	0	4	1	13	2.6	9.63
合計	27	27	29	27	25	135	27	100

表2.5 西から東（コンビニの出入り口地点）に走行する車の累計台数（単位：台）

	1周期目	2周期目	3周期目	4周期目	5周期目	合計	平均	%
直進車	19	19	23	23	20	104	20.8	87.39
コンビニに左折で 入る車	2	4	2	3	4	15	3	12.61
合計	21	23	25	26	24	119	23.8	100

表 2.6 西から東（コンビニの出入り口地点）に走行する左折車の停車時間（単位：秒）

番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
停止時間	0	0	0	20	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	10

上記の表より、

停車率は $3 \div 15 \times 100 = 20\%$ 、

停車する車の平均停車時間は $(20+30+10) \div 3 = 20$ 秒（標準偏差 = 8.16）となる。

表 2.7 北から南（信号機地点）に走行する車の累計台数（単位：台）

	1 周期目	2 周期目	3 周期目	4 周期目	5 周期目	合計	平均	%
左折車	2	1	0	1	1	5	1	17.24
右折車	2	5	6	6	5	24	4.8	82.76
合計	4	6	6	7	6	29	5.8	100

実測日時：2020年9月27日（日） 15時開始

天候：晴れ

内容：コンビニの駐車場について以下の項目を調査

- ・ 収容台数は26台，駐車料金は20分間無料，以降10分500円。
- ・ 駐車後，七里ガ浜駅方面の出口，海方面の出口のどちらから右折もしくは左折するか，18台を計測（表2.8）。

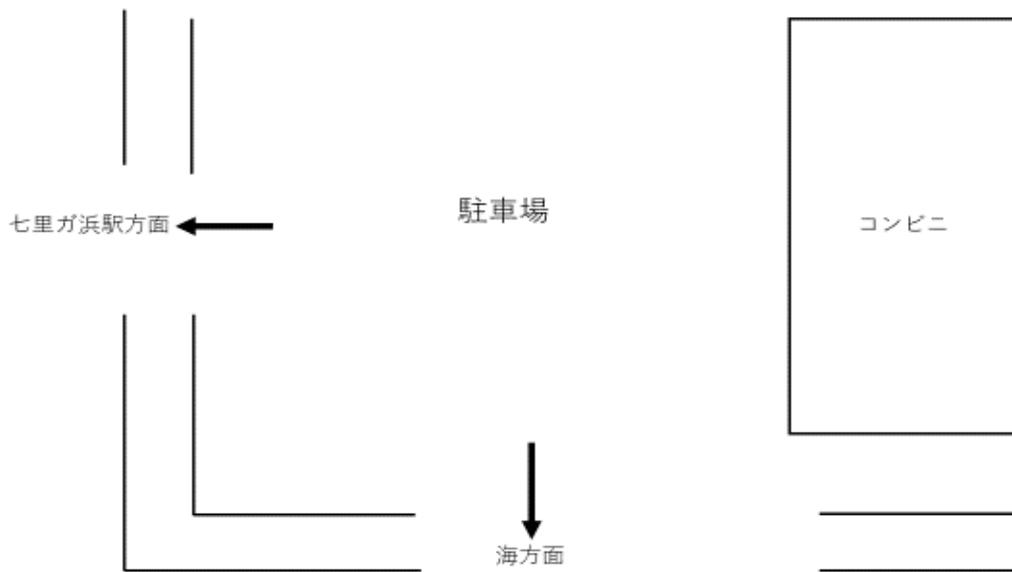


図 2.12 駐車場の出入り口

表 2.8 出入り口の選択と右左折の選択（単位：台）

	累積台数	%
七里ガ浜駅方面を右折	4	22.22
七里ガ浜駅方面を左折	6	33.33
海方面を左折	8	44.44
海方面を右折	0	0
合計	18	100

実測日時：2020年10月3日（日） 14時開始

天候：曇り時々晴れ

内容：以下の項目を調査

- ・コンビニの駐車場での滞在時間（52台）.
- ・15時50分~16時5分の15分間で北から南（コンビニの出入り口地点）に走行する車の累積台数を計測.
- ・歩行者が横断歩道を通る人数（東西方向，南北方向）.

表 2.9 コンビニの駐車場での滞在時間（単位：秒）

番号	滞在時間	番号	滞在時間	番号	滞在時間	番号	滞在時間	番号	滞在時間
1	350	11	40	21	606	31	568	41	599
2	894	12	384	22	78	32	89	42	355
3	540	13	385	23	407	33	371	43	909
4	902	14	909	24	414	34	181	44	205
5	453	15	494	25	535	35	328	45	527
6	263	16	1,116	26	554	36	279	46	461
7	768	17	331	27	425	37	922	47	685
8	506	18	1,601	28	471	38	317	48	498
9	316	19	171	29	643	39	485	49	557
10	474	20	893	30	304	40	390	50	352
平均滞在時間		503.27						51	562
標準偏差		279.15						52	303

表 2.10 北から南（コンビニの出入り口地点）に走行する車の累計台数（単位：台）

	累計台数	%
直進車	29	90.625
左折してコンビニに入る車	3	9.375
合計	32	100

表 2.11 西から東，東から西，北から南，南から北に横断歩道を渡る
歩行者の人数（単位：人）

	西から東	北から南	南から北	東から西
1 周期目	5	3	6	4
2 周期目	14	8	17	8
3 周期目	21	15	20	5
4 周期目	29	22	13	8
5 周期目	7	4	13	4
6 周期目	21	13	8	4
7 周期目	3	0	19	6
8 周期目	8	0		
9 周期目	23	17		
合計	131	82	96	39

表 2.12 歩行者の横断歩道前への平均到着時間（単位：秒）

	東方向	南方向	北方向	西方向
平均到着時間	9.62	15.37	10.21	25.13

平均到着時間は 1 人が到着するまでの時間の間隔の平均を求めたものであり，例えば西から東の場合を求めてみる．表 2.1, 2.2 より，信号は 140 秒周期であるため， $140 \text{ (秒)} \times 9 \text{ (周期)} \div 131 \text{ (人)} = 9.62 \div 10 \text{ (秒/人)}$ となり，おおよそ 10 秒間隔で 1 人到着する．同様にほかの場合も求めると上記の表の結果となる．

実測日時：2020 年 12 月 12 日（土） 14 時開始

天候：晴れ

内容：10 分間で交差点に到着する台数（各方向）

- ・東から西 115 台 $600 \div 115 = 5.217391 \div 5.2 \text{ 秒間隔}$ で 1 台到着．
- ・西から東 127 台 $600 \div 127 = 4.724409 \div 4.7 \text{ 秒間隔}$ で 1 台到着．
- ・北から南 29 台 $600 \div 29 = 20.68966 \div 20.7 \text{ 秒間隔}$ で 1 台到着．

尚，車はおおむね 30km/h で走行している．

以上が現地調査を行った結果である。現地調査から明らかになったことをまとめる。

- ・東から西の右折車によって渋滞が発生していると予想したが、実際は表 2.3 より、約 1% しか右折する車がおらず、ほとんど影響がなかった。
- ・表 2.11 より横断歩道を西から東に渡る歩行者が多いことがわかる。これは北西には七里ガ浜駅、西には路面店があり、この 2 方向から多くの人々が南にある眺めの良い駐車場を目指して向かっているという背景がある。したがって、東西方向の人通りが西からの左折車に影響を与えていると推測できる。
- ・表 2.5 より、西から東に走行する車のうち約 13% の車がコンビニに左折している。また、表 2.3 より、東から西に走行している車のうち約 5% の車がコンビニに右折している。さらに、表 2.10 より、北から南に走行している車のうち約 9% の車がコンビニに左折している。これらの実測結果より、コンビニの駐車場を利用する車が多く、敷地内は混雑しやすいことが考えられる。実際に表 2.6 の停車時間はコンビニの駐車場敷地内に入れず、車が本線にはみ出たまま待ちが発生しているときの数字である。つまり、コンビニもこの道路の交通に影響を与えていると推測できる。

第3章 マルチエージェントモデル

3.1 マルチエージェントモデルとは

複数のエージェントが一定のルールに従い、自律的に行動することで互いに影響を与える。その影響により各エージェントの行動ルールが動的に変化していき、これを繰り返すことでエージェント集団全体の動きを表現するモデルのことをマルチエージェントモデルという。

3.2 S⁴(エスクワトロ) Simulation System 概要

本研究では、株式会社 NTT データ数理システムが開発した S⁴(エスクワトロ) Simulation System を用いてシミュレーションを行う。このソフトは簡単に複雑なモデルを GUI 上で表現し、シミュレーションを行うことができる汎用シミュレーションシステムである。使用するプログラミング言語は Python で、対象としているシミュレーションは以下の3種類である。

- ・銀行の窓口や工場の生産システム、コールセンター、通信システムなどの離散イベントシミュレーション。
- ・エネルギーや資源政策、生態系などの連続型シミュレーション。
- ・交通システムや防災、感染症モデルなどのエージェントシミュレーション。

本研究では、エージェントシミュレーションを扱う。その中でも人や車が道路ネットワークを移動するモデルに適した、ネットワークシミュレーション機能を利用して行合橋交差点のモデリングを行う。

第4章 シミュレーションの設定

S⁴(エスクワトロ) Simulation System では、エージェントシミュレーションに必要な部品が用意されており、「環境部品」でエージェントが行動する空間を、「エージェント部品」でエージェントの行動を設定することで、シミュレーションを行うことができる。環境部品ではネットワークパラメータのデフォルト値、エージェントパラメータのデフォルト値は自分で設定することが可能であるが、本研究では、エージェントの速度以外は NTT 数理システムが開発した交通シミュレーションサンプルの intersectionTraffic.s4 のデフォルト値を使用する。尚、エージェントが加速したり減速する機能は備わっていないため、シミュレーション実行時は指定した速度で動くか停止する。その他の具体的な設定は以下で説明する。

4.1 行合橋交差点の設定

シミュレーション空間は Google Maps の地図データを背景画像として読み込み、その上にエージェントの行動領域を設定するために経路地点を置き、各経路地点を結び経路グラフを作成する。このようにして作成した空間が図 4.1 である。空間の大きさは横 130m、縦 80m、経路地点の大きさは半径 1m である。車は経路グラフ上を最適速度で走行するか停車する。

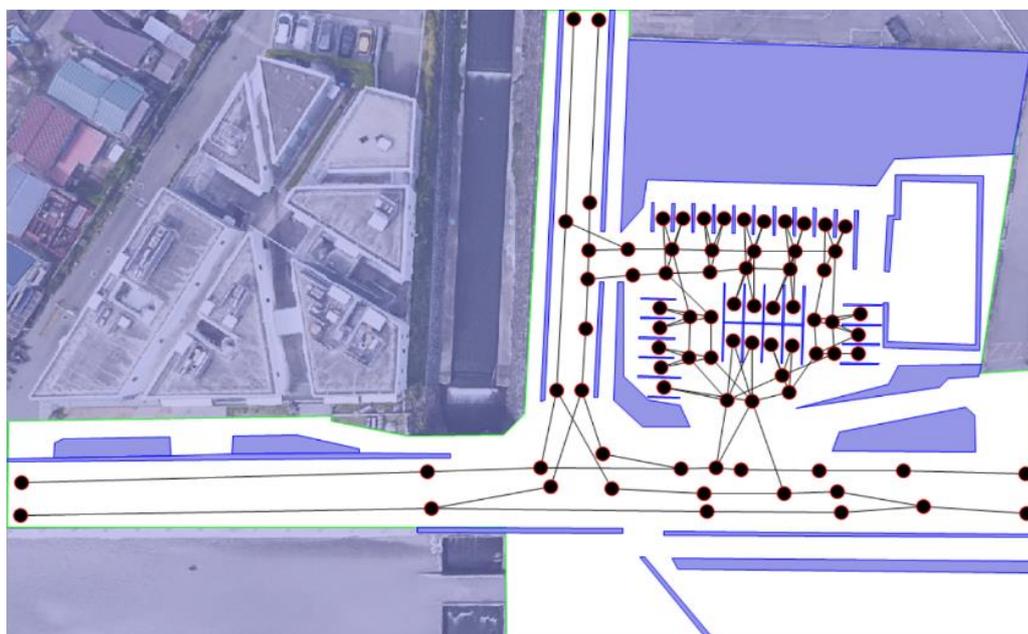


図 4.1 行合橋交差点の地図

尚， エージェントの行動ルールを作成するために経路地点には属性を設定する（図 4.2）.

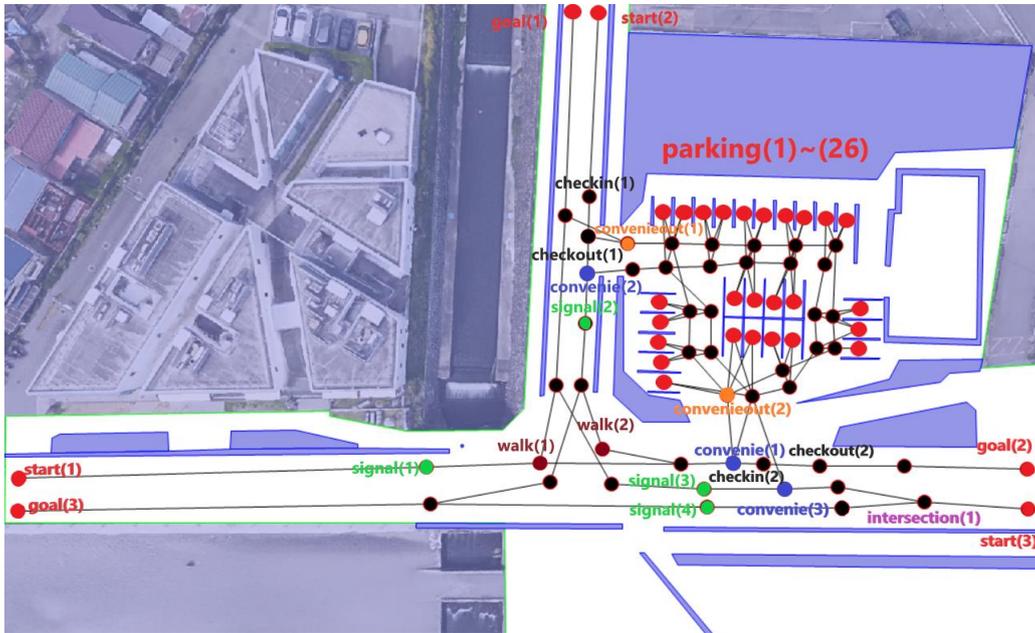


図 4.2 経路地点の属性

各属性は以下のとおりである.

- ・ start(1)~(3) : エージェントの出発（発生）地点
- ・ goal(1)~(3) : エージェントの目的（削除）地点
- ・ signal(1)~(5) : 信号機が設置されている地点
- ・ intersection(1) : 東→西の右折レーンと直進レーンの分岐地点
- ・ convenie(1),(2) : コンビニの入り口であり，本線との分岐地点
- ・ convenieout(1),(2) : コンビニの出口で駐車台数を管理するための地点
- ・ parking(1)~(26) : コンビニの各駐車スペース
- ・ walk(1),(2) : 横断歩道を渡る歩行者をチェックする地点
- ・ checkin(1),(2), checkout(1),(2) : convenie(3)と convenieout(1)から右折時に対向車線の直進車が来ていないことをチェックする地点

4.2 信号機の設定

表 2.1 より, 自動車用の信号の周期はシミュレーション開始とともに東西方向の信号が青になるように設定する. 西方向の右折用信号機については直進用信号機とは別に設定することで再現する. 図 4.3 と図 4.4 は各方向の信号機と右折信号機を図で表したものと, 信号周期を表したものである.

歩行者用の信号機は表 2.2 をもとに設定する.

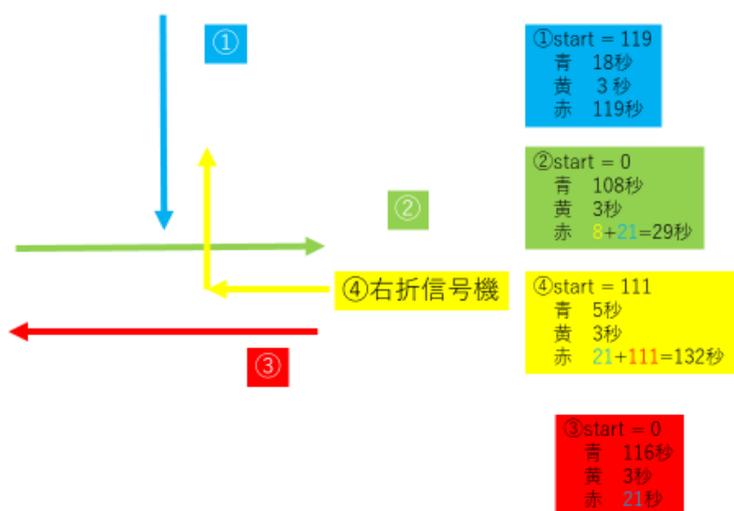


図 4.3 交差点の車用の信号機

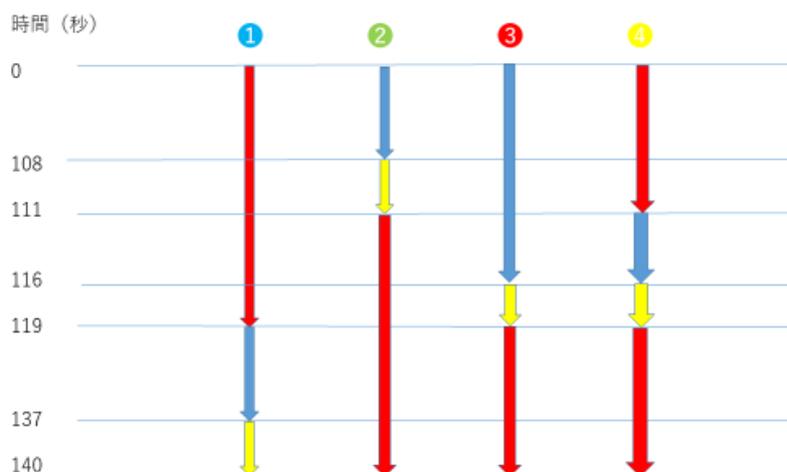


図 4.4 交差点の自動車用の信号周期 (青：青信号, 黄：黄信号, 赤：赤信号)

4.3 車の設定

車の設定を以下に箇条書きで記述する.

- 車の大きさは全長 4.1m, 全幅 1.7m とする. 尚, シミュレーション実行時に映し出されるエージェントは円形であるため, 全幅 1.7m に合わせて半径 0.85m で生成する.
- 走行中は視野表示を扇形で色は青, 停車中は視野表示は円形で色は赤で表示する.
- 渋滞が発生しやすい夏などを想定し, 速度は 10km/h (2.778m/s), 車間距離は 5m とする. 車頭間隔は 5m (車間距離) + 4.1m (全長) = 9.1m となる. すなわち, 東西方向の到着間隔は $9.1 \div 2.778 \approx 3.3$ 秒, 南方向の到着間隔は 12 月 12 日の調査の 20.7 秒を平均として, 指数分布に従ってランダムに到着させる.
- コンビニの駐車場で駐車するときは parking(1)~(26)からランダムに 1 つ選び, 駐車する. 滞在時間は表 2.9 より平均 503 秒, 標準偏差 279 秒の正規分布に従い, ランダムに設定する. また, 駐車スペースに空きがないときはコンビニの敷地内に入らずに goal 地点を目指す.
- convenie(3)と convenieout(1)から右折時に対向車線の直進車が来ているときは停車する.
- 表 2.6 より convenie(1)で左折する時は 20%の確率で平均 20 秒, 標準偏差 8 秒の正規分布に従い, ランダムに停車する.
- 歩行者が横断歩道を渡っているとき, walk 地点で停車する. 図 4.5 より実際に左折車に影響を与えるのは矢印部分の 4m と 5m を歩いているときである. すなわち, 1 人の歩行者が東西方向の矢印部分を歩いているときは 4 秒間, 南北方向の矢印部分を歩いているときは, 車は 5 秒間停車する.

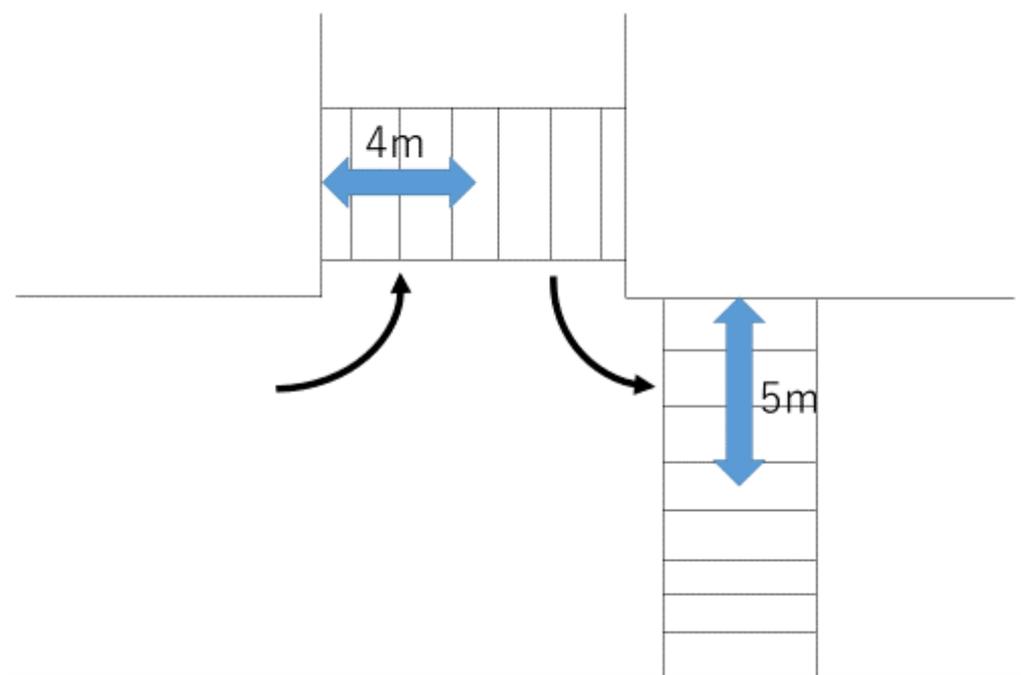


図 4.5 西から東に走行する左折車と、北から南に走行する左折車が横断歩道前で停車するとき (walk(1), walk(2))

・車の行動パターンについては以下のとおりである.

course1 : start(1) -> signal(1) -> walk(1) -> goal(1)

course2 : start(1) -> signal(1) -> convenie(1) -> goal(2)

course3 : start(1) -> signal(1) -> convenie(1) -> parking(1)~(26) -> convenieout(1) -> goal(1)

course4 : start(1) -> signal(1) -> convenie(1) -> parking(1)~(26) -> convenieout(2) -> goal(2)

course5 : start(1) -> signal(1) -> convenie(1) -> parking(1~26) -> convenieout(1) -> goal(3)

course6 : course(2)と同じ (駐車場に空きがないとき)

course7 : start(2) -> convenie(2) -> signal(2) -> walk(2) -> goal(2)

course8 : start(2) -> convenie(2) -> signal(2) -> goal(3)

course9 : start(2) -> convenie(2) -> parking(1)~(26) -> convenieout(1) -> goal(1)

course10 : start(2) -> convenie(2) -> parking(1)~(26) -> convenieout(2) -> goal(2)

course11 : start(2) -> convenie(2) -> parking(1)~(26) -> convenieout(1) -> goal(3)

course12 : course7と同じ (駐車場に空きがないとき)

course13 : course8と同じ (駐車場に空きがないとき)

course12 : start(3) -> intersection(1) -> signal(4) -> goal(3) (直進信号)

course13 : start(3) -> intersection(1) -> convenie(3) -> signal(3) -> goal(1) (右折信号)

course14 : start(3) -> intersection(1) -> convenie(3) -> parking(1~26) -> convenieout(1) -> goal(1)

course15 : start(3) -> intersection(1) -> convenie(3) -> parking(1~26) -> convenieout(2) -> goal(2)

course16 : start(3) -> intersection(1) -> convenie(3) -> parking(1~26) -> convenieout(1) -> goal(3)

course17 : course13と同じ (駐車場に空きがないとき)

- ・各分岐地点での分岐の割合は表 2.3, 表 2.4, 表 2.5, 表 2.7, 表 2.8, 表 2.10 の実測結果をもとに, 小数第 1 位を四捨五入し, 整数値で設定する (図 4.6).

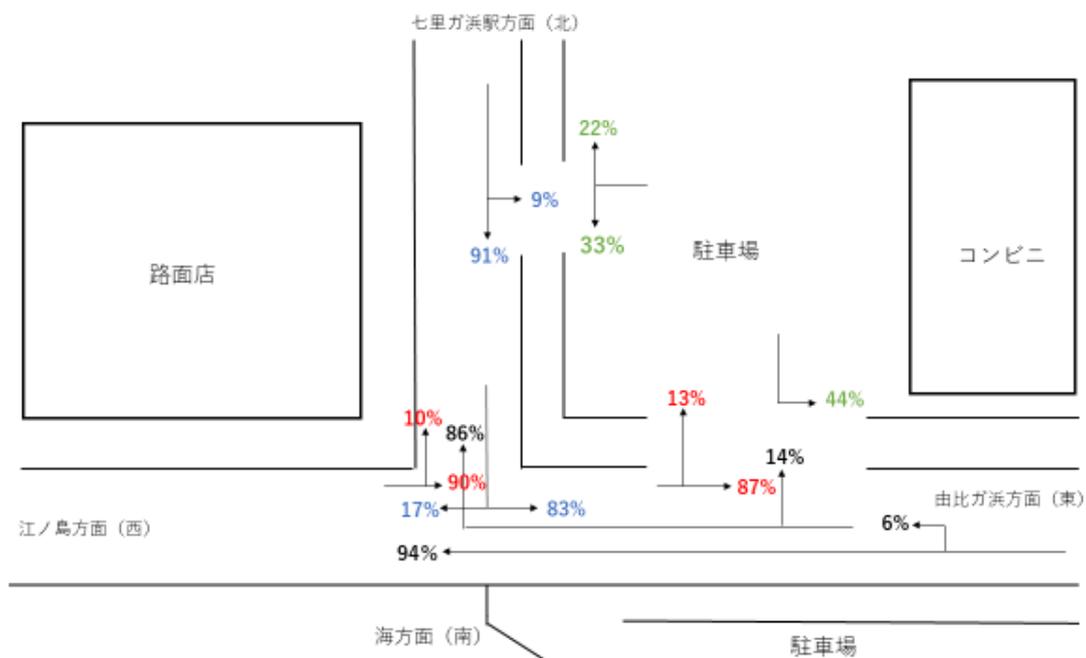


図 4.6 各分岐地点の分岐の割合

4.4 歩行者の設定

歩行者の設定を以下に箇条書きで記述する.

- ・本シミュレーションで扱うエージェントは車のみとする (二輪車は除く).
したがって, 歩行者の動きについては横断歩道を渡る時のみを考慮する.
- ・歩行者の占有幅は 0.75m とする. 図 2.11 より横断歩道の幅は 4m であるため, 同時に 5 人まで横並びで横断可能とする.
- ・図 2.11 より 1 人の歩行者が東西方向の横断歩道を渡るのに 8 秒, 南北方向の横断歩道を渡るのに 10 秒かかる. すなわち, 図 4.5 の東西方向の矢印部分を歩くときは 4 秒, 南北方向の矢印部分を歩くときは 5 秒かかる.
- ・車の設定と同様に, 歩行者も多い時期を想定する. 横断歩道の幅が 4m であるため, 10km/h (2.778m/s) で走行する車は 3 秒あれば 8.334m 進み, 横断歩道を横切ることができる. よって, 車が横断歩道を横切ることができるように西からの到着間隔は 7 秒とする. 表 2.12 より, 東からは $25.1 \times 7 \div 9.6 \doteq 18$ 秒, 南からは $10.2 \times 7 \div 9.6 \doteq 7$ 秒, 北からは $15.4 \times 7 \div 9.6 \doteq 11$ 秒間隔で横断歩道前に到着するものとする.

以上を踏まえると、西から東に走行する車が左折するときは、信号が青に切り替わって11秒間は必ず停車し、その後は66%の確率で4秒間停車する (walk(1))。北から南に走行する車が左折するときは、信号が青に切り替わって15秒間は必ず停車する (walk(2))。

第5章では4.1節から4.4節で設定した条件をベースモデルとし、いくつか条件を変えながらシミュレーションを行う。また、1回のシミュレーションは3,600秒とし、30回分の通過台数の平均と最小値、最大値を比較する (図4.7)。

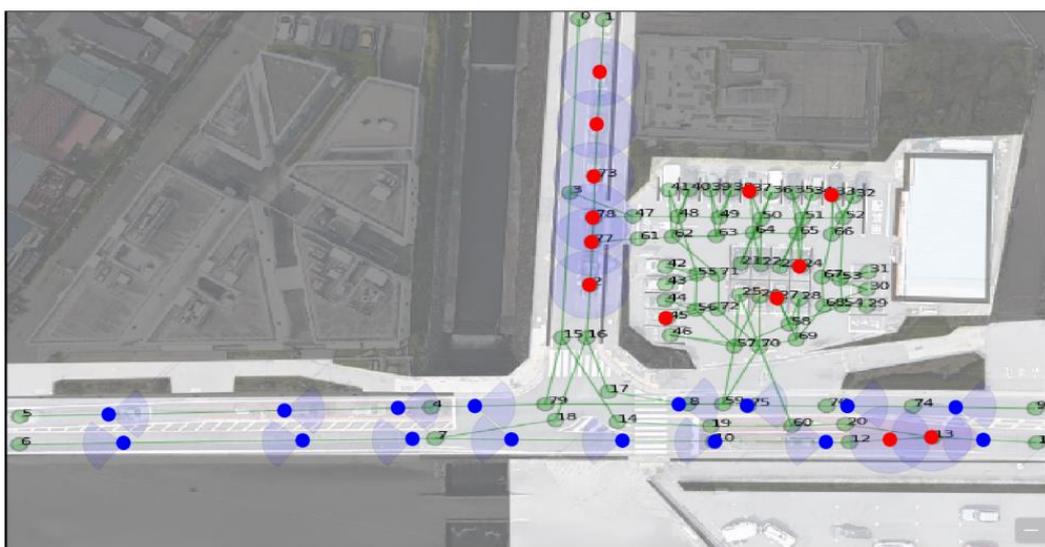


図 4.7 ベースモデルのシミュレーション実行時の画面

第5章 渋滞緩和策の検討

渋滞緩和策を検討するために、前章のベースモデルにいくつかの条件を加えたシミュレーションを行う。

表 5.1 シミュレーションの条件

	東西方向の歩行者信号の青信号を 97 秒から 14 秒に短くした場合	東方向の車線に左折レーンを設置した場合	歩行者信号機を無くして、地下通路を設置した場合
パターン A	○		
パターン B		○	
パターン C			○
パターン D	○	○	
パターン E		○	○

上記のパターン A, B, C を以下の 5.1 節から 5.3 節で詳しく説明する。

5.1 パターン A：東西方向の歩行者信号の青信号を 97 秒から 14 秒に短くした場合

歩行者の到着間隔は西から 7 秒間，東から 18 秒であるため，1 周期の 140 秒間で西から 20 人，東から 7~8 人到着する．また，4.4 節の横断ルールに従って歩行者信号の青を 97 秒から 14 秒に短くすると，車は信号が青に切り替わって 11 秒間は必ず停止することになる．

5.2 パターン B：東方向の車線に左折レーンを設置した場合

ベースモデルでは東方向に走行する車のうち，左折車が停車すると後続車も停車してしまうため，車線のゼブラゾーンを無くし，直進レーンと左折レーンに分ける（図 5.1）．

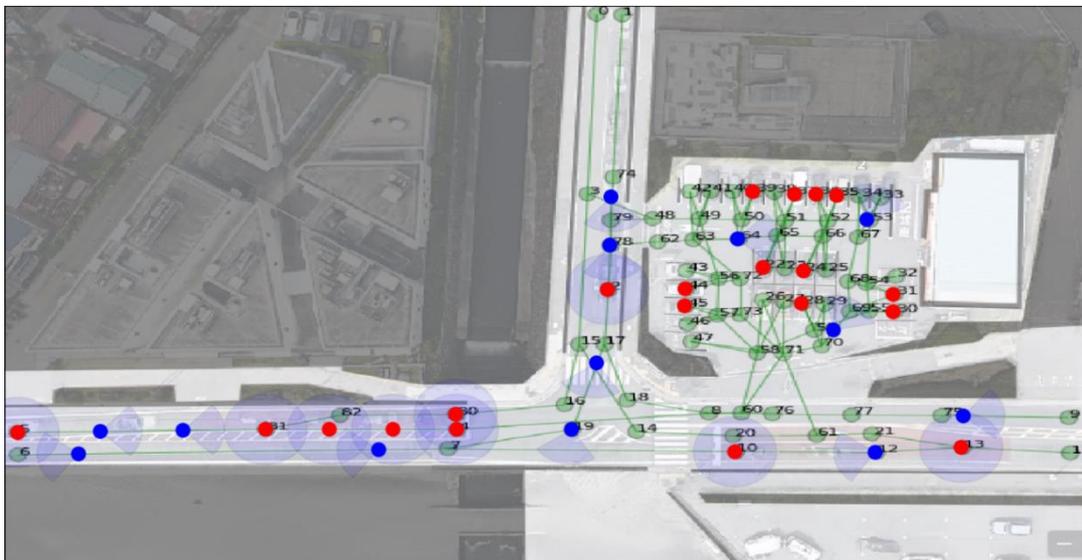


図 5.1 左折レーンを設置した場合のシミュレーション実行時の画面

5.3 パターン C：歩行者信号機を無くして，地下通路を設置した場合

仮に信号機を無くして地下通路を設置した場合，歩行者の動きは車に全く影響を与えないものとする．つまり walk 地点での車の停車率は 0%となる．

5.4 実行結果

東方向の交通量は start(1)で計測した。以下の表とグラフがベースモデルとパターン A から E でシミュレーションを行った結果である。平均は小数第 2 位で四捨五入した。

表 5.2 start(1)を通過した車の台数 (単位：台)

	ベースモデル	パターン A	パターン B	パターン C	パターン D	パターン E
平均	514.7	521.7	529.3	523.1	524.4	524.8
最小値	491	500	503	492	502	499
最大値	540	553	549	539	543	544

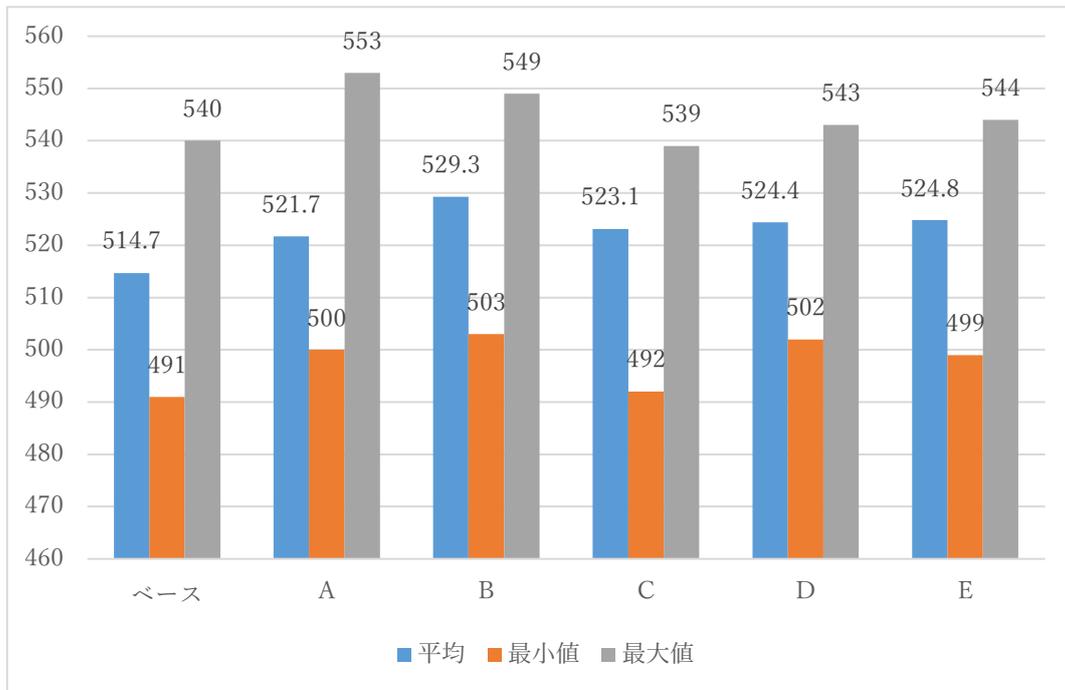


図 5.2 start(1)を通過した車の台数 (横軸：条件, 縦軸：台数)

到着間隔は 3.3 秒であることから、本来は 3,600 秒で 1,090.9 \approx 1,091 台通過しなければならない。しかし、ベースモデルでは 514.7 \approx 515 台しか到着できていないため、576 台が後ろに並んでいるということになる。これを渋滞の長さに換算すると、車間距離 5m、車の全長 4.1m であることから $575 \times 9.1 + 4.1 = 5,236.6\text{m}$ となる。これは、行合橋交差点から江ノ島入り口まで 2,400m、その先は片側 2 車線道路であることから $2,836.6 \div 2 = 1,418.3 \approx 1,400\text{m}$ となり、おおよそ鶴沼公園歩道橋までの約 3,800m の渋滞となる (図 5.3)。

パターン A から E のいずれの場合も平均通過台数を増やすことができた。

パターン C (地下通路) はベースモデルより 8 台ほど、パターン A (歩行者信号の青を短く) より 1~2 台しか通過台数を増やせない。このことから多額の費用をかけて地下通路を設置しても大きな改善が見込めないため、あまり現実的な有効策ではないだろう。

パターン B (左折レーン) はパターン A, C よりも 6~8 台多く、ベースモデルより 14 台ほど多く通行台数を増やすことができた。これは、左折レーンを設置したことにより、左折車が横断歩道前で停車しても、直進車が待たずに済むようになったことが要因として考えられる。また、左折レーン並べられるようになった分、直進レーンに進む後続車は前に詰められるようになり、交通量が増えたと推測できる。

パターン D, E がパターン B とあまり差がない。これは東方向に走行する車において、直進車が 90%、左折車が 10% であるため、左折レーン内は直進車に影響を与えるほど渋滞しないことが要因として考えられる。

以上を踏まえると、交通量を増やす方法としては左折レーンを設置することが有効策であると判断できる。

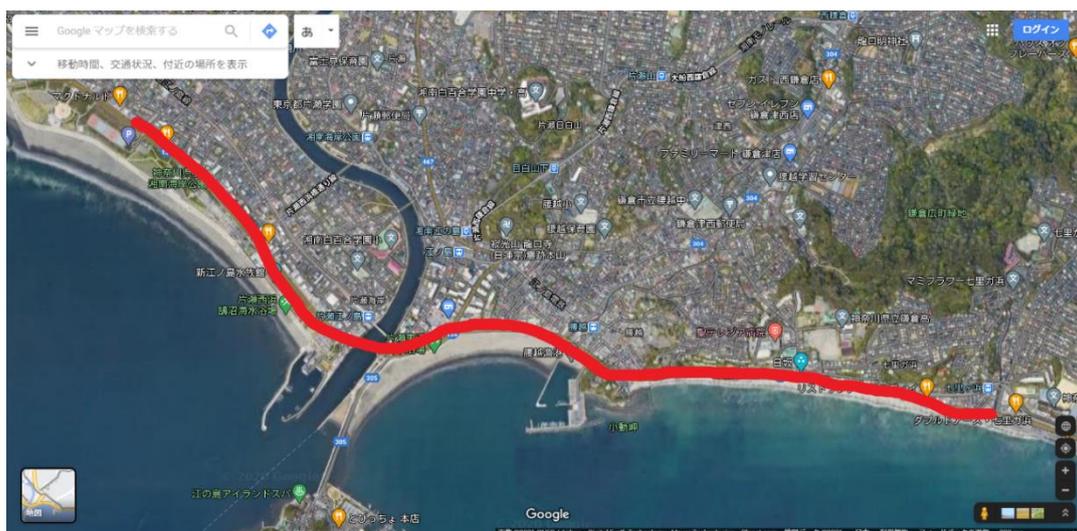


図 5.3 ベースモデルで発生した約 3,800m の渋滞 (行合橋交差点は赤線の右端)

第6章 おわりに

6.1 まとめ

本研究では、マルチエージェントモデルを用いて様々な条件でシミュレーションを行った結果、交通量を増やす方法は左折レーンを設置することが有効策であることが明らかになった。

しかし、これらの策でも多くて60台ほど、すなわち、約550mしか渋滞を短くすることができない。これは根本的に交通容量に対して圧倒的に車の到着率が高いことが原因である。もし、江ノ島から箱根方面の道路と同じように、鎌倉方面の道路も片側2車線にすることができたら交通量は2倍くらいになるはずである。つまり、1,000台以上の車が通過できるようになり、3.3秒間隔で到着しても渋滞をほぼ発生させずに済むだろう。

6.2 今後の課題

今後の課題は車だけでなく歩行者もエージェントとして設定し、より再現性の高いシミュレーションを行うことが挙げられる。そのためには歩行者の動きについて、横断歩道を渡る人数ではなく、車と同様に出発地から目的地への動きを記録する必要がある。

また、東方向だけでなく西方向の渋滞緩和策も検討したり、他の交差点などでもシミュレーションを行うことも挙げられる。様々な場所で交通量を増やす方法を検討すれば、片側2車線にせずとも、少しずつではあるが渋滞を緩和させることができるかもしれない。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多くのご指導、ご助言をいただいた中央大学工学部情報工学科の鳥海重喜教授に深く感謝いたします。

また、シミュレーションについてサポートしていただいた株式会社 NTT データ数理システムの嶋田佳明氏、ならびに多くのご助言、ご協力をいただいた鳥海研究室のメンバーにも心から感謝いたします。

参考文献

- [1] Google Maps : <<https://www.google.co.jp/maps>>
- [2] Google Earth : <<https://www.google.com/earth>>
- [3] 株式会社 NTT データ数理システム : サンプルプログラム, intersectionTraffic.s4, <<https://www.msi.co.jp/s4/casestudy/traffic.html>>
- [4] 国土交通省 : 道路構造令の各規程の解説, 幅員構成に関する規定, <kouzourei_full.pdf (mlit.go.jp)>
- [5] 株式会社 NTT データ数理システム : S⁴(エスクワトロ) Simulation System Version 6.0 psim 言語リファレンスマニュアル
- [6] 株式会社 NTT データ数理システム : S⁴(エスクワトロ) Simulation System Version 6.0 チュートリアル
- [7] 株式会社 NTT データ数理システム : S⁴(エスクワトロ) Simulation System Version 6.0 操作マニュアル