

# JR 立川駅周辺の自動車道渋滞分析

1A202238 富澤陽仁

## 概要

本研究では、JR 立川駅周辺の道路で頻発する自動車混雑を、立川市の観光名所の一つである国営昭和記念公園（以下、昭和記念公園）を目的地とした経路を可視化することによって分析した。昭和記念公園を中心とした自動車道路ネットワークを構築し、ネットワークの特徴を算出するとともに、昭和記念公園の駐車場入り口である昭和記念公園立川口を目的地として走行距離が最短となる経路及び所要時間が最短となる経路を可視化することによって分析した。また、それらの結果を踏まえた上で新しい道路を設置し、再度同様の可視化を行なってその効果について考察した。

## 1 研究の目的

本研究は、共同研究者である奥畑佳考氏の体験に端を発する。奥畑氏は昭和記念公園を目的として自動車を走らせたところ、図 1 に示される JR 立川駅周辺の道路で約 1 時間半ほどの渋滞に捕まり、抜け道を検索しても見つけることができなかったという体験をした。実際、図 1 の道路は地域の主要渋滞箇所（一般道）[1] に指定されており、そのような渋滞が頻発する箇所であると考えられる。奥畑氏はこの体験をもとに、この渋滞は自動車交通量の多さもさることながら、渋滞を回避する他の経路がないという道路の構造的問題によるところが大きいのではないかと推察し、本研究の分析に至った。



図 1: 混雑が頻発する道路

本研究は池田他 (2011)[2] や鈴木・斎藤 (2017)[3] が混雑分析で行う次数中心性・近接中心性・媒介中心性を用いた分析に倣いながらも、道路ネットワークの大きさに基づく計算量の制約上を踏まえ、媒介中心性の定義に含まれる 2 つのノードの最短経路のうち特定のノードを通る回数という考え方を応用して可視化を行なった。この

可視化の方法は、直接的に中心性を計算することが困難な場合にも適用可能であるという点において重要な貢献がある。

## 2 データ

本研究の対象となる自動車道ネットワークは以下の (図 2)。

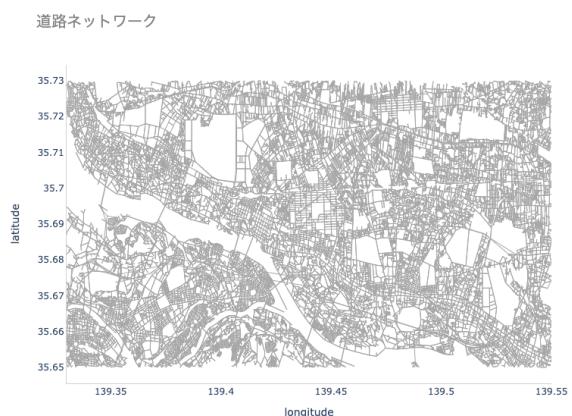


図 2: 自動車道ネットワーク

このネットワークは昭和記念公園（図 3a）・JR 立川駅周辺・甲州街道（図 3b）・中央自動車道（図 3c）を含むように、それぞれ北緯 35.71 度・南緯 35.655 度・西経 139.33 度・東経 139.55 度を端とした長方形の形で構築されている。これは、奥畑氏の体験において目的地が昭和記念公園であり、特に混雑していた箇所が JR 立川駅東部を南北に縦断する立川通りと甲州街道の右折レーンであったことから、注目する道路として含むことを意図したからである。また、中央自動車道を含むようにしたのは、立川市外からの観光客を想定すると、中央自動車道を使い、八王子 IC もしくは国立府中 IC で一般道に降りる経路が最短である場合が多いのではないかと考えら

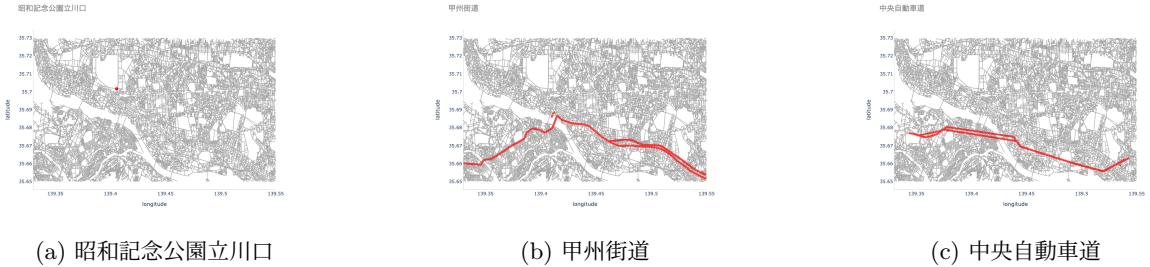


図 3: 昭和記念公園・甲州街道・中央自動車道を含む

れるからである。

ネットワークは OpenStreetMap[4] から道路ネットデータを取得できる OSMnx[5] という Python パッケージのバージョン 1.1.2 を使用して構築された。昭和記念公園、特に分析においては駐車場入り口である昭和記念公園立川口を目的地として車でくる観光客を想定していることから、歩道・自転車道を含まない。自動車が通行可能な全ての自動車道がエッジとなり、各エッジは交差点をノードとして繋がっている。道路ネットワークの基本特徴量は以下の通りである（表 1, 図 4・5）。

表 1: 自動車道ネットワークの基本特徴量

| ノード数  | エッジ数  | 平均次数  | 密度        |
|-------|-------|-------|-----------|
| 35235 | 95164 | 2.849 | 7.665e-05 |

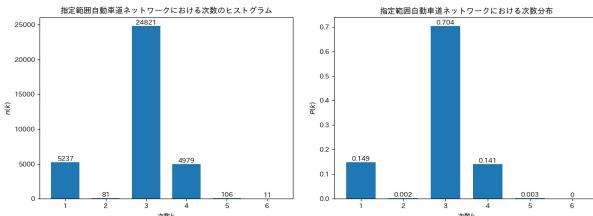


図 4: 次数ヒストグラム

図 5: 次数分布

道路ネットワークは有向グラフである。具体的には、エッジは始点ノードから終点ノードの方向へ通行可能なものとして張られる。したがって 2 つの交差点を双方向に通行可能である場合は 2 本のエッジが張られる。そのため、エッジ数は 95164 となっている。一方で、平均次数はネットワークを無向グラフとした上で、各ノードが有する、繋がっている交差点の数という情報をもとに算出されている。すなわち、あるノードが 3 つの交差点に繋がっている場合、全ての交差点を双方向に通行可能であるならばエッジ数は 6 であるが次数は 3 となる。図 4 及び図 5 が示すように、次数 3 が最も多く、次いで次数 1、次数 4 が多い。

最後にノードとエッジがそれぞれ有する情報について述べる。各ノードは緯度・経度、先に述べた交差点が繋がる道路の数という情報を持つ。緯度経度の情報は可視化の際の位置関係に用いられる。またエッジは主要な道路もしくは通りである場合、道路の名前の情報を持つ。加えて、道路の長さおよび法定速度の情報を有する。単位はそれぞれ m, km/h である。

### 3 分析手法

#### 3.1 中心性指標

始めに入次数中心性・出次数中心性・固有値中心性を算出し、値の大きいノードをより濃い色でプロットした。

ノードの色はノードの属する階級に依存する。階級数はスタージェスの公式を用いて決定される。スタージェスの公式は  $k$  を階級数、 $N$  をサンプル数として (1) で表される。

$$k = 1 + \text{round}(\log_2 N) \quad (1)$$

今回の場合、 $N$  は中心性の値のパターン数を表す。すなわち、2 つのノードの中心性の値が同じであればパターン数は 1 つ減少する。この公式によって決まった階級数をもとに、階級の幅  $w$  は

$$w = \text{ceil}\left(\frac{\max\{\text{中心性の値}\}}{k}\right) \quad (2)$$

で求められる。これによって求まった階級の幅と階級数をかけてそれぞれの階級の階級の下限及び上限が決まり、その範囲にある中心性の値を持つノードの色が決まる。この方法は以下の、値に基づいて異なる配色をするという可視化の方法を行う際に用いられる。

#### 3.2 最短経路

次に、緯度 35.665 以南の 6774 個のノードから目的地への最短経路を算出し、最短経路に含まれていることが多いエッジをより濃い色で配色してプロットした。ここで、最短経路とはあるノードから目的地までの経路の中で、走行距離すなわち全てのエッジの長さを合計が最小となる経路を意味する。あるノードから目的地までの最

短距離の算出には、道路の長さを重みとしてダイクストラ法を用いた。

出発点の対象となる 35.665 以南の全ノードから目的地への最短経路の最短経路が確定したら、全最短経路に用いられた重複なしの道路セットと道路のパターン数、そしてその道路が最短経路に使用された回数が確定する。例えば、最短経路 1 でエッジ 1,2 が使用され、最短経路 2 でエッジ 2,3 が使用されたならば、道路セットはエッジ 1,2,3 となり、パターン数は 3 となる。最短経路に使用された回数はエッジ 1 が 1 回、エッジ 2 が 2 回、エッジ 3 が 1 回となる。

これらが求まった後、道路のパターン数  $N$  として階級数を求める公式 (1) に当てはめ、階級の幅を求める式 (2) の分母に道路の使用回数の最大値を置くことで階級の幅を求め、使用された回数が多い階級のエッジほど濃い色でプロットした。

### 3.3 最短時間経路

#### 3.3.1 指定のノードから目的地への最短時間経路

次に、緯度 35.665 以南の 6774 個のノードから目的地への最短時間経路を算出し、最短時間経路に含まれていることが多い階級に属するエッジをより濃い色で配色してプロットした。最短時間とはあるノードから目的までの経路において、

$$\text{所要時間 (h)} = \frac{\text{道路の長さ (m)}}{\text{法定速度 (km/h)} \cdot 1000} \quad (3)$$

で定義された所要時間の合計が最短となる経路を意味する。法定速度の情報を持たないエッジに対しては、住宅街などの主要ではない道路であると仮定し、一律 20km/h で設定した。最短時間経路が確定したのち、最短経路と同様の方法で配色をしてプロットした。

#### 3.3.2 ランダムなノードから目的地への最短時間経路

統いて、範囲を指定しないランダムな 6000 個のノードから目的地への最短時間経路を算出し、同様の方法でプロットした。

### 3.4 新しい道路の設置



図 6: 新しい道路 1



図 7: 新しい道路 2

次に、これまでの結果を受けて新しい道路を設置し

た。本研究で設置したのは 2 つの道路である（図 6・7）。道路の長さは他の道路と比較した上で新しい道路 1 は 200m、新しい道路 2 は 400m とした。法定速度は、主要道路と接続するように設置しているという点から、共に 50km/h で設定した。

2 つの道路は、主要道路からの接続と現実的にありうるかという観点で蓋然性が高いという理由で決定した。しかし、新しい道路の効率的な設置については今後の課題である。

#### 3.4.1 新しい道路設置後の最短時間経路

新しい道路をそれぞれ設置し、最短時間経路の変化を見た。最短経路の変化について確認しなかったのは、実際の運転者の行動として所要時間が最も短い経路、すなわち最短時間経路を選択することが自然であると考えられるからである。

#### 3.4.2 新しい道路設置による結果の分析

最後に、新しい道路の設置によって新しく使用されると想定した経路と実際に使用された経路を比較分析した。第一に、所要時間・道路の距離を比較し、各経路の違いを見た。第二に、各経路の道路を法定速度ごとに異なる配色をしてプロットした。法定速度が速い道路ほど濃い色でプロットした。これによって新しい道路設置後にネックとなっている道路を可視化した。第三に、ネックとなる道路の法定速度を変化させることで、最短時間経路が変化することを確認し、新しい道路設置による混雑分散の可能性を考察した。

## 4 結果

### 4.1 中心性指標

入次数中心性・出次数中心性・固有値中心性を中心性の値によって決まる階級ごとにプロットした結果が図 8a・8b・8c である。次数中心性の結果からは、南西の交差点が特に次数が高くなっているということが分かる。固有値中心性についても同様の結果が見てとれるが、ネットワークの性質と中心性指標とのマッチという点からも、これらの結果だけでは道路構造について大きな情報は得られなかった。

### 4.2 最短経路

緯度 35.665 以南のノードを出発点として昭和記念公園立川口までの最短経路を算出し、最短経路に使用された回数の多い道路をより濃い色でプロットした結果が以下である（図 9）。図を見ると、ほとんどのノードは 3 つの経路に集中して使用している。最短経路において甲州街道は目立って使用されておらず、主要道路からの接続による一極集中が生じていないことが分かる。最短経路

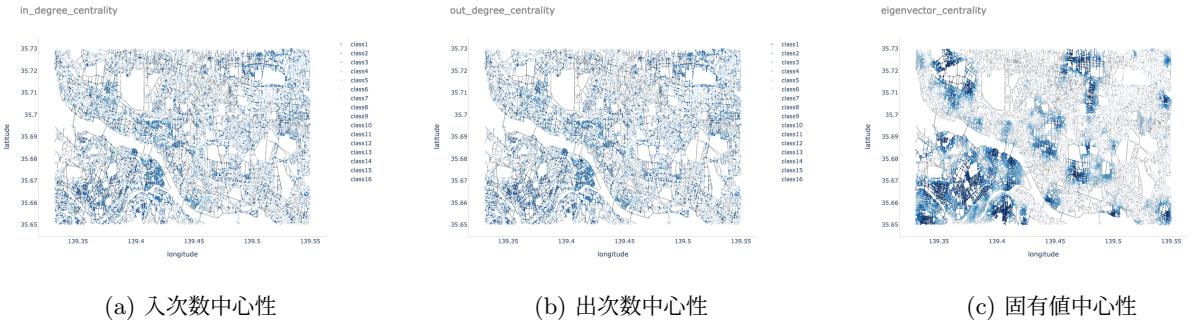


図 8: 中心性指標をもとにしたプロット

昭和記念公園までの最短経路

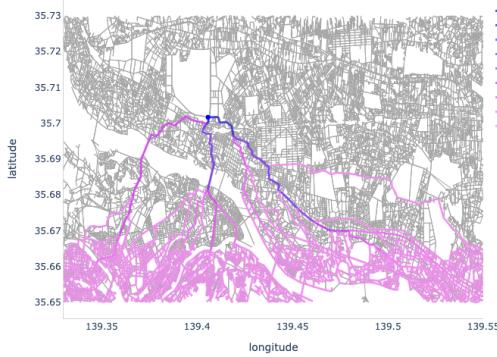


図 9: 昭和記念公園立川口までの最短経路

昭和記念公園までの最短時間経路

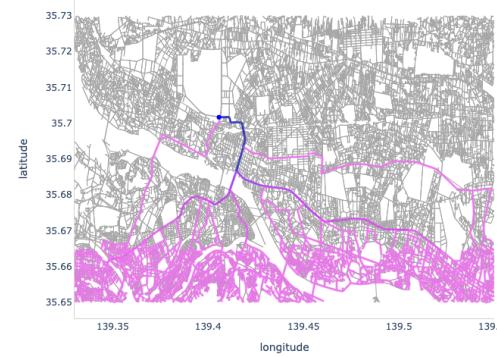


図 10: 昭和記念公園立川口までの最短時間経路

であるため 3 つの主な経路は直線に近い経路となっており、この結果を見る限りでは JR 立川駅周辺の道路が混雑する要因は判断できかねる。

### 4.3 最短時間経路

#### 4.3.1 指定のノードから目的地への最短時間経路

緯度 35.665 以南のノードを出発点として昭和記念公園立川口までの最短時間経路を算出し、最短時間経路に使用された回数の多い道路をより濃い色でプロットした結果が図 10 である。

図を見ると、使用された回数が最も多い階級の道路が中央に 1 つあることが分かる。また東西に散らばっているノードから最も濃い色の道路へ合流する経路は甲州街道に一致しており、合流地点から目的地までの経路において図 1 に示される混雑が頻発する道路が使用されていることが分かる。

したがって、所要時間を重みとしたネットワークで媒介中心性の考え方をエッジに適用した最短時間経路という指標を用いると、問題となっている主要な経路は問題となっている道路を使用する経路のみとなり、混雑が生じていることが可視化によって示された。

#### 4.3.2 ランダムなノードから目的地への最短時間経路

ランダムに選択した 6000 個のノードから目的地までの最短時間経路を算出し、使用された回数の最も少ない階級に属するエッジを除いてプロットした結果が図 11 である。

昭和記念公園までの最短時間経路

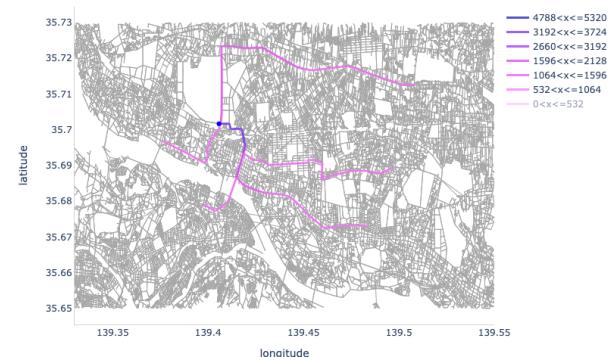


図 11: ランダムなノードから昭和記念公園立川口までの最短時間経路

結果を見ると、南方からのノードは図 10 と同様に甲州

街道を使用して目的地へ向かったことが分かる。また、東方からのノードに関しては JR 立川駅周辺の道路で南方からの経路と合流して最終的には混雑が頻発する道路のみが使用されていることが分かる。これによって、南方からの観光客のみならず、東方からの観光客も昭和記念公園立川口を目的地とした場合には問題の道路を使用していることが示された。

#### 4.4 新しい道路の設置

##### 4.4.1 新しい道路設置後の最短時間経路

新しい道路をそれぞれ設置し、最短時間経路をプロットしたものが以下の 2 つの図である。結果から、新しい道路 1・2 のどちらを設置しても結果は変化していないことが分かる。

図 12: 新しい道路 1 設置後の最短時間経路



図 13: 新しい道路 2 設置後の最短時間経路

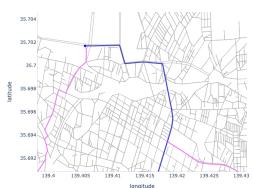


図 12: 新しい道路 1 設置後 図 13: 新しい道路 2 設置後の最短時間経路

##### 4.4.2 新しい道路の設置による結果の分析

図 11において、南方からの観光客と東方からの観光客が問題の道路において合流していることを述べた。これ以降の分析では、図 11 の最も濃い色の経路の目的地ではない方の端点を合流地点と呼称し、合流地点から目的地への経路を比較し分析する。これは、それ以前の経路を含めても合流地点までは同じ経路を辿ることため、含める必要がないことに起因する。

図 14 は合流地点から目的地への最短時間経路と、それぞれの新しい道路を使用した上で最短時間となる経路を比較したものである。後者は合流地点から新しい道路の始点までの最短時間経路と新しい道路の終点から目的地への最短時間経路を合わせることでプロットしている。

赤い経路は全体の最短時間経路、青い経路は新しい道路 1 を通る場合の最短時間経路、そして緑の経路は新しい道路 2 を通る場合の最短時間経路を表す。図から、新しい道路 2 を通る経路と全体の最短時間経路は、全体の経路から分岐した地点から新しい道路 2 の始点までと新しい道路 2 を除いて一致していることが分かる。調べた結果、分岐地点から新しい道路 2 の始点までの道路は、立川ワインズ通りと呼称されている道路であることが分かった。以下、この道路を立川ワインズ通りと呼ぶ。

3つの道路比較

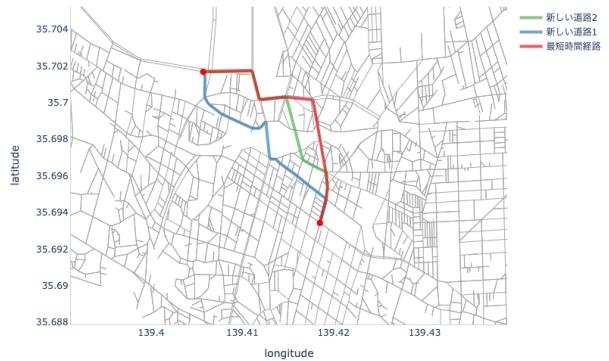


図 14: 合流地点から目的地への 2 つの新しい道路を用いる経路と最短時間経路の比較

3 つの経路の総距離及び所要時間の合計、そして所要時間から算出した平均時速をまとめたものが表 2 である。最短時間経路の総距離が最も長いのにも関わらず、所要時間の合計は最も短いことが分かる。最短時間経路に次ぐのは新しい道路 2 を通る経路であることも分かる。

続いて、各経路の道路を法定速度ごとに異なる色をつけてプロットしたものが図 15 である。これを見ると、新しい道路 1 を通る経路は新しい道路 1 の法定速度 50km/h を除く全ての道路で法定速度 30km/h 以下であることが分かる。これは、分岐点から新しい道路 1 の始点まで、終点から目的地までの両方の道路が住宅街をはじめとした主要ではない道路であることを示唆おり、そのことが最短時間経路よりも約 100m 短いにも関わらず、最も時間を要している原因であると考えられる。

3つの道路の法定速度比較



図 15: 各経路における道路を法定速度別に配色してプロットしたもの

次に、最短時間経路と新しい道路 2 を通る経路を比較すると、新しい道路 2 と立川ワインズ通りのみが異なる

表 2: 各経路の比較

| 経路名           | 経路の長さ (m) | 所要時間 (h) | 平均時速 (km/h) |
|---------------|-----------|----------|-------------|
| 最短時間経路        | 1984.180  | 0.06172  | 32.148      |
| 新しい道路 1 を通る経路 | 1838.744  | 0.06721  | 27.358      |
| 新しい道路 2 を通る経路 | 1907.462  | 0.06384  | 29.879      |

表 3: 各経路の比較

| 経路名           | 経路の長さ (m) | 所要時間 (h)       | 平均時速 (km/h)   |
|---------------|-----------|----------------|---------------|
| 最短時間経路        | 1984.180  | 0.06172        | 32.148        |
| 新しい道路 1 を通る経路 | 1838.744  | 0.06721        | 27.358        |
| 新しい道路 2 を通る経路 | 1907.462  | <b>0.05780</b> | <b>33.001</b> |

点で、かつ新しい道路 2 は 50km/h であり最も速く走行できるということから、新しい道路 2 を通る経路が採用されていない原因は立川ワインズ通りであると断定できる。すなわち、新しい道路 2 を設置したにも関わらず、混雑が分散されなかったのは、立川ワインズ通りであったということである。

これを受けて、立川ワインズ通りの実際の法定速度を調査したところ、実際には 40km/h であることが分かった。法定速度が設定されていない道路は主要ではない道路であるとして一律 20km/h にしていたことによって、正確なネットワークを構築できておらず、結果として正しい結果を得られていなかったということである。他にもこのような道路が存在すると考えられるので、より正確なネットワークの構築手法は今後の課題であるといえる。

最後に、立川ワインズ通りを実際の法定速度である 40km/h にしたもののが図 16 である。そして、その結果が表 3 である。法定速度を変更した結果、所要時間の合計は従来の最短時間経路を下回り、新しい道路 2 を通る経路が新たな最短時間経路となった。これらの結果から、新しい道路の設置次第では、より短い所要時間の経路を構築することができる事が示された。

## 5 結論・考察

本研究における主要な結果は二つある。一つ目は、最短時間経路という指標用い、媒介中心性の考え方をエッジに応用し可視化したことで、道路ネットワークの構造的問題に起因する自動車混雑を再現することができたということである。二つ目は、新しい道路の設置により、より最短時間で到着可能な経路を作成できたことから、JR 立川駅周辺道路という構造的問題を孕んだ道路ネットワークにおいても、効率的な道路設置次第では混雑の

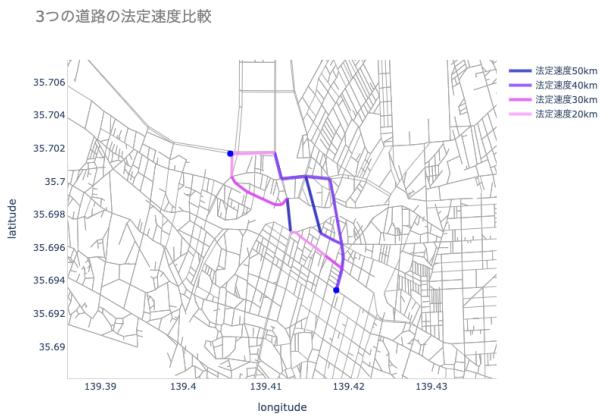


図 16: 立川ワインズ通りの法定速度を実際の 40km/h に変更

緩和は可能であることを示したということである。

一方で、今回の分析手法には改善可能な点が存在する。一つは、新しい道路の設置の節でも述べたことであるが、法定速度が設定されていない道路を一律 20km/h にした点である。立川ワインズ通りのような実際には異なる法定速度の道路を考慮できていないという点で、この点を改善できればより正確な結果を得ることができると考えられる。他には、最短時間という指標にも改善の余地がある。今回混雑要因の可視化を最初の目的としていたことから、観光客は最短の時間に行くという行動が仮定されていた。しかし、実際には奥畠氏の行動のように、抜け道を探すことが予想される。そのため、最短の所要時間から一定の誤差を含む所要時間を許容所要時間としてすることで、そのような行動を分析に含めることができ、より頑健な結果を得ることができると考えられる。したがって今後はこれらの問題が課題であるといえる。

## 参考文献

- [1] 東京都 地域の主要渋滞箇所（一般道）.  
(n.d.). Retrieved January 31, 2022 from  
[https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr\\_content/content/000071906.pdf](https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000071906.pdf)
- [2] 池田哲夫, 斎藤和巳, 武藤伸明, & 伏見卓恭. (2011).  
複雑ネットワーク分析手法による道路網の分析. 第 20 回地理情報システム学会研究発表大会  
(GISA2011), D-6-2.
- [3] 鈴木優伽, & 斎藤和巳. (2017). ステップ分解型媒介  
中心性による道路網の混雑度分布の分析. 研究報告  
数理モデル化と問題解決 (MPS), 2017(8), 1-6.
- [4] OpenStreetMap. (n.d.). Retrieved January 31,  
2022 from <https://www.openstreetmap.org>
- [5] Boeing, G. (2017). OSMnx: New methods for  
acquiring, constructing, analyzing, and visualizing  
complex street networks. Computers, Envi-  
ronment and Urban Systems, 65, 126-139.