

## グラフ / ネットワーク分析による首都圏高速道路の交通トラフィック分析 Study about traffic jam analysis of the metropolitan area highway by graph / network analysis

武井泰知<sup>†</sup>  
Taichi Takei

大槻明<sup>†</sup>  
Akira Otsuki

### 1. はじめに

近年、首都圏において高速道路が相次いで新規開通している。特に、2015年3月の首都高速道路中央環状線(C2)の大井JCT~大橋JCT間や、2018年6月の東京外環自動車道(C1)の三郷南IC~高谷JCT間など、環状高速道路が開通してきた。環状高速道路は、都心から郊外に向かって放射状に延びる高速道路同士を繋いでいるもので中京圏では名古屋高速都心環状線、名古屋第二環状自動車道及び東海環状自動車道、近畿圏では阪神高速1号環状線や大阪都市再生環状道路(阪神高速2・4・6・14号と近畿自動車道で構成される環状高速道路の通称)が存在している。これらの道路は、都市部を通過する車両を分散させて渋滞を緩和することを目的としてかねてより建設が進められてきた。首都圏においても上記の環状道路の開通により、東京都心を経由することなく通過できる高速道路網の完成がようやく近づいてきた。その一方で、高速道路のアクセスが良くなり利便性が向上すれば、その路線を利用する車も増え、逆に新たな渋滞が発生する原因にもなる。なかでも、東京圏の高速道路はオフィス街の間を縫うような設計になっている場合も珍しくないため、道路の構造が複雑なものになり、その結果として渋滞が発生していることも想定される。

本研究では、首都圏の高速道路の改良工事に役立つ知見を導出することを目的として、国土交通省の渋滞に関するデータ[1]を使用してグラフネットワークに基づく中心性を行った。この分析の結果、中心性スコアの上位10カ所のスポットについて、ミクロ及びマクロな視点から渋滞原因についての考察を行い道路改良計画の一案を示した。

なお、今回の改善提案は著者が実際に現場を見て考察した改善案を提案しているため、具体的な改善案を導出するためには、道路工学や都市経済学といった専門知見からの

考察が必要である。つまり、本研究によって得られた結果と道路工学及び都市経済学の専門知見を組み合わせることによって、首都圏の高速道路の慢性的な渋滞をより効率的な方法で改善できることが期待される。

### 2. 先行・関連研究

本研究と先行・関連研究との比較を表1にまとめる。

鈴木ら[2]の研究では、単位時間あたりの交通量を定量化した「ステップ」を定義し、目的地をノード、目的地間の道路数をリンクとして、静岡市、浜松市、沼津市の道路交通網を対象として媒介中心性分析を行い、従来の統計指標とは異なる性質を持つ新たなネットワーク分析の指標を提案、各都市の中で混雑しやすい地域を特定した。

また、池田ら[3]の研究では、静岡市の道路交通網を対象に次数中心性、近接中心性、媒介中心性を利用した分析をそれぞれ行って比較検討した結果、媒介中心性と近接中心性を用いることによって施設配置などに応用が可能なノードを抽出できるということを明らかにした。

しかし、これらの先行・関連研究はあくまで中心性分析を実際のデータに適用した際の評価にとどまっており、その結果から具体的な渋滞緩和のための提案を行うまでには至っていない。対して本研究では、中心性分析の結果から渋滞箇所の特定し、フィールドワークを踏まえてマクロ及びミクロな見地から渋滞改善のための考察を行っていることが新規性であると考えられる。

また、鈴木ら[2]の研究では目的地、池田ら[3]の研究では交差点をそれぞれノードとしているが、本研究では渋滞損失時間を重みづけに利用し、各高速道路施設をノードとして中心性分析を行っているということが相違点として挙げられる。

表 1. 先行研究との比較

	研究目的	研究手法
本研究	首都圏高速道路の渋滞箇所を特定、道路改良計画の立案に繋げる。	各高速道路施設をノード、渋滞損失時間をエッジとしてグラフネットワークを作成、これをもとに媒介中心性分析を行う。
鈴木優伽, 斉藤和巳 「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」[2]	静岡市周辺の道路網において混雑地を特定する。	時間ごとの交通量を定量化した「ステップ」を導入し、静岡市周辺の道路を対象に媒介中心性分析を行う。
池田哲夫, 斉藤和巳, 武藤伸明, 伏見卓恭 「複雑ネットワーク分析手法による道路網の分析」[3]	静岡市内の施設配置や広告配置への応用を狙う。	交差点をノードとし、次数中心性、近接中心性、媒介中心性を利用してそれぞれ分析する。

### 3. 研究アプローチ

#### 3.1 隣接行列の作成

まず、本研究で利用する研究手法について述べる。今回は、国土交通省が発表している「高速道路の交通状況ランキング(平成31・令和元年)」[1]に示されている渋滞損失時間を使用し、その中から首都圏(ここでは東京都、神奈川

県、埼玉県、千葉県の1都3県を表す)の高速道路及び都市高速道路を対象範囲として隣接行列を作成する。

なお、渋滞損失時間とは交通渋滞によって失われた本来有効利用できたはずの時間、つまり、渋滞によってどれだけの遅れが生じたのかを表している。

次に、隣接行列の作成方法について述べる。一例として、首都高速 5 号池袋線の美女木 JCT～板橋 JCT 間のデータを使って説明する(表 2)。[1]のデータでは、美女木 JCT と板橋 JCT の間の距離は 12.1km であり、渋滞損失時間は 153.8 分となっている。当該区間の間には、戸田南や高島平などの一般道との出入口や、志村料金所といった本線料金所が存在しているが、これらのスポット一つひとつの渋滞データが公開されていないため、公開されている美女木 JCT～板橋 JCT 間のデータをもとに各スポットの渋滞損失予測時間 (FLT, Forecast Lost Time by Traffic Jam for each Spot) を求めた。この計算式は次式のように示される。

$$FTL = TLT \frac{TDBS}{TD} \tag{1}$$

- TLT : Total Lost Time, 区間全体の渋滞損失時間
- TDBS : Target Distance that Between Spots, 間にあるスポット同士の距離
- TD : Total Distance, 区間全体の距離

例えば、高島台～板橋本町間の渋滞損失時間を求める場合、総距離 (美女木 JCT と板橋 JCT の間の距離 12.1km) に対して、高島台～板橋本町間の距離は 8km であるため、次式の計算式によって、当該区間の渋滞損失時間は約 101.7 分と算出することができる。

$$101.7 = 153.8 \frac{8}{12.1}$$

表 2. 美女木 JCT～板橋 JCT 間の隣接行列

	美女木JCT	戸田南	高島平	中台/志村料金所	板橋本町	板橋JCT
美女木JCT/戸田	0	28	38.1	103	140	153.8
戸田南	28	0	10.2	75	111.9	125.8
高島平	38.1	10.2	0	64.8	101.7	115.7
中台/志村料金所	103	75	64.8	0	36.9	50.9
板橋本町	140	111.9	101.7	36.9	0	14
板橋JCT	153.8	125.8	115.7	50.8	14	0

### 3.2 グラフネットワークの可視化と中心性分析

3.1 で述べた隣接行列をグラフデータに変換し、このグラフデータをネットワークマップとして可視化したものが図 1 である。このネットワークマップでは、次数の大きな単語ほど大きく表示され、かつ共起頻度の高い共起語のエッジほど太く表示される。つまり、渋滞損失時間が大きい区間ほど太いエッジとして示され、その渋滞に大きく関与しているスポットほど大きな文字で表示されるということである。

図 1 では、葛西 JCT や小松川 JCT などが他のスポットと比較して大きく表示されていることが分かる。つまり、これらのスポットが渋滞に大きく関わっていることが予想される。

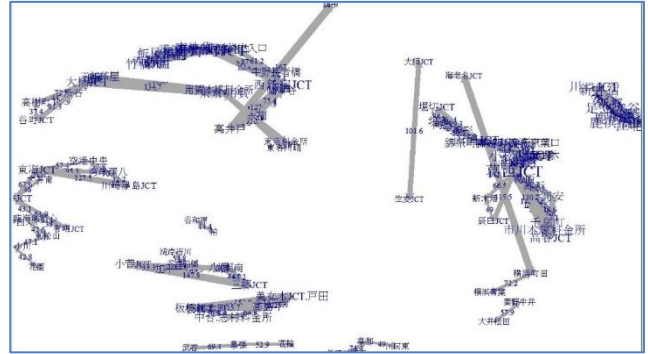


図 1. グラフネットワークマップ

そして、このグラフネットワークデータをもとに中心性分析を行う。代表的な中心性分析には、持っているリンクの数が多くほど高く評価する次数中心性[4]、他のノードとの距離が近いほど高く評価する近接中心性[5]、最短経路のハブとなっているノードを高く評価する媒介中心性[6]、他のノードと多くのリンクを持っていて、重要性の高い他のノードからリンクを受け取る場合にそのノードを高く評価するページランク[7]の 4 つの手法が存在する。近接中心性では各スポットが密集している箇所ほど高く評価するため、渋滞損失時間では正確な結果が得られない。また次数中心性やページランクは、単に接続しているエッジが多いスポットを高く評価するため、ハブとなっているスポットを抽出することはできない。ゆえに、本研究では交通トラフィックのハブとなっているスポットを抽出できる媒介中心性を使用することとした。

## 4. 考察

### 4.1 中心性分析の結果

表 3 は、中心性分析スコアの上位 10 スポットを左から降順に示している。最も高いスコアであったスポットは、首都高速中央環状線と首都高速 7 号小松川線が接続している「小松川 JCT」の 137.8 で、首都高速中央環状線と首都高速湾岸線が接続する「葛西 JCT」の 124.0、首都高速湾岸線の「葛西出入口」の 85.0 と続いている。なお、分析対象である全スポットの平均値は 15.8 であった。

表 3. 中心性分析の結果

小松川 JCT	葛西 JCT	葛西	両国 JC T	熊野町 JC T	船堀橋	東池袋	西新宿 JC T	清新町	舞浜
137.8	124.0	85.0	72.0	72.0	63.3	61.0	60.0	59.3	58.0

### 4.2 マクロな視点からの考察

表 3 で示した各スポットを、首都高ナビマップに掲載されている地図上[8]にマッピングした結果を図 2 に示す。上位 10 地点のうちの 6 地点が首都高速中央環状線に存在していた。特に、首都高速 4 号新宿線との接続点である西新宿 JCT や、首都高速 5 号池袋線と接続する熊野町 JCT、首都高速 7 号小松川線と接続する小松川 JCT や首都高速湾岸線と連絡している葛西 JCT など、他の高速道路と車両の行き来ができるスポットが高い数値を示していることが分かる。つまり、都心から各方面に向かって延びている放射状

高速道路と多くに接点を持っている環状高速道路に車両が集中していることが考えられる。これらのスポットは図 1 において他のスポットよりも大きな文字で示されており、表 3 の数値と一致していることが分かる。

また小松川 JCT から、船堀橋、清新町、葛西 JCT を経由し、首都高速湾岸線の葛西、舞浜まで渋滞スポットが連続していることが分かる。このことから、この区間において長大な渋滞が発生している可能性が高いことが予想される。これらのスポットは図 1 においても中央右寄りに密集して表示されていることが分かる。



図 2. 中心性スコアの上位 10 スポットのマッピング[8]

### 4.3 ミクロな視点からの考察

次に、ミクロな視点からの道路改良案について考察する。今回は中心性スコアが最も高かった小松川 JCT を取り上げて考察を行う。図 3 に、小松川 JCT の構造と、渋滞の原因となっていると予測されるポイントを示した。小松川 JCT は東京都江戸川区に位置している首都高速中央環状線と首都高速 7 号小松川線の JCT である。一般的に 2 つの路線が交わる JCT は 8 方向への分岐が設けられるが、この JCT は中央環状線の堀切 JCT 側から小松川線の京葉 JCT 方面への分岐と、小松川線の京葉 JCT 側から中央環状線の堀切 JCT 方面への分岐のみが存在する、いわゆる「クォータージャンクション」と呼ばれる構造をしている。さらに 2 路線の出口である「小松川出口」と、小松川線の入口である「小松川入口」、中央環状線の入口である「中環小松川入口」、小松川線や一般道から中央環状線に向かう車両から料金を徴収するための「中環小松川料金所」と、複数の機能を併せ持っているのが特徴である。この JCT で渋滞の原因になっていると予想される場所は、図 3[9]の中で赤のバツ印で示されている地点 A と地点 B である。



図 3. 小松川 JCT の構造と渋滞原因予測ポイント

まず地点 A であるが、図 4[10]に示す通り、中央環状線からの合流部と、一般道へ向かう「小松川出口」の分岐があり、中央環状線から小松川出口を出る車と、中央環状線から千葉方面へ向かう車、小松川線から小松川出口を出る車が、一時的に小松川線本線の左車線へ集中するような構造となっている。特に「中央環状線から小松川出口を出る車」は導流帯を避けて減速しながら一旦小松川線の左車線に合流し、すぐに分岐して一般道に向かうため、小松川線の左車線の混雑に拍車がかかるような状況が生まれている。



図 4. 地点 A の問題点

この部分での混雑を解消するには、図 5[10]で示している通り、分岐・合流車線を適切な距離分長くし、小松川線を部分的に 3 車線化、導流体を廃止することによって、本線上での車両の交錯を抑制し、より余裕のある車線変更が可能になると考えられる。

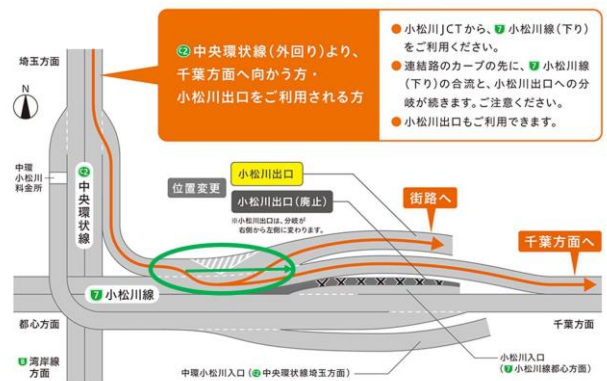


図 5. 地点 A の改善案

続いて地点⑧であるが、図6[10]で示している通り、小松川線から「中環小松川料金所」へ向かう車が一般道からの車と合流し、2車線が1車線に減少している場所となっている。こちらは料金所までのランプウェイを2車線化することによって、一般道からの合流部での混雑を解消できると考えられる。

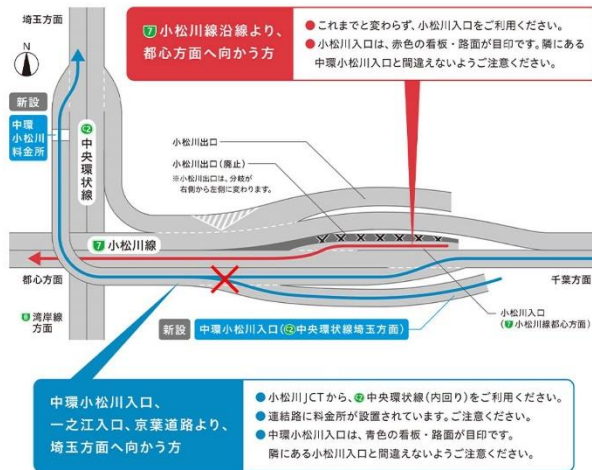


図6. 地点⑧の問題点

以上の考察は、あくまで著者が実際に視察を行って考察した改善案に基づいているものであるため、より具体的な改善案を検討するためには、道路工学や都市経済学といった専門的な知見からの考察が必要であると考えられる。

## 5. おわりに

本研究では、首都圏高速道路の交通トラフィックを分析するためのグラフネットワーク分析モデルを提案した。そして、中心性スコアが高かった10地点を地図上に示し、その中でも最も高いスコアとなった小松川JCTについて問題点と道路改良計画の一考察を行った。

今後の課題としては、国土交通省から収集できた渋滞損失時間データの件数が少なかったため、さらなるデータ収集を行い、より広範囲での分析を行っていきたいと考える。

### 参考文献

- [1] 高速道路の交通状況ランキング(平成31・令和元年) : [https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/pdf/highway\\_ranking\\_r01.pdf](https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/pdf/highway_ranking_r01.pdf) (2021/6/6 閲覧済)。
- [2] 鈴木優伽, 斉藤和巳: 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, 論文誌(トランザクション)数理モデル化と応用(TOM)Vol.11No.2, pp.87-98, 2018.
- [3] 池田哲夫, 斉藤和巳, 武藤伸明, 伏見卓恭: 複雑ネットワーク分析手法による道路網の分析, 地理情報システム学会講演論文集, 第20巻, D-6-2, 2011.
- [4] Proctor CH, Loomis CP: Analysis of sociometric data. Res Methods Soc Relat 2:561-85, 1951.
- [5] M. A. Beauchamp. An improved index of centrality. Behavioral Science, 10:161-163, 1965.
- [6] Freeman, Linton: "A set of measures of centrality based on betweenness". Sociometry. 40 (1): 35-41, 1977.
- [7] Sergey Brin and Lawrence Page. : The Anatomy of a Large-scale Hypertextual Web Search Engine, Computer Networks and ISDN Systems, pp.107-117, 1998.
- [8] 首都高ナビマップ(路線概略図)全体版 : <https://www.shutoko.jp/>

/media/pdf/customer/use/network/navimap/210401/map\_all.pdf (2021/6/6 閲覧済)。

- [9] JCT・複雑なルート案内 | 首都高ネットワーク案内 | 首都高ドライバーズサイト : <https://www.shutoko.jp/use/network/jct/> (2021/6/6 閲覧済)。
- [10] ご利用ガイド | 小松川 JCT : <https://www.shutoko.jp/ss/tokyo-smooth/komatsugawa/guide/> (2021/6/6 閲覧済)。