

長期間蓄積された交通流データを用いた 交通容量変動の空間分布の可視化

川上 航¹・村上 友基²・中田 諒³・井料 隆雅⁴

¹学生会員 神戸大学 大学院工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)
E-mail:167t108t@stu.kobe-u.ac.jp

²学生会員 神戸大学 大学院工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)
E-mail:152t142t@stu.kobe-u.ac.jp

³正会員 阪神高速道路株式会社 計画部調査課 (〒541-0056 大阪市中央区久太郎町4-1-3)
E-mail:ryo-nakata@hanshin-exp.co.jp

⁴正会員 神戸大学 大学院工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)
E-mail:iryoy@kobe-u.ac.jp

車両検知器データにより得られた長期の交通流データを用い、都市高速本線上断面の交通容量の経年変化の空間分布を確認する。交通容量は道路管理において重要な工学的指標のひとつである。交通容量は道路の幾何構造のような長期的に一定な要因の他に、車両やドライバーの特性のような経年変化しうる要因にも依存して決定する。このことは交通容量そのものも経年変化する可能性があることを示唆する。既存研究において、特定の地点の交通容量の低下は示されている。その交通容量の低下が地点特有のものなのか、もしくはネットワーク全体で低下傾向を示しているのか、原因を考察するためには空間的な変化を見ることが有用であろう。本研究では2004年から2013年までに阪神高速道路の車両検知器により観測された地点別の交通量と速度のデータを用い、実績交通量の99%ile値を交通容量とみなす方法を用いて各地点の交通容量の推定を行った。その結果と渋滞流の密度、交通量、速度の平均値をあわせて空間的に可視化することにより交通容量の経年変化に対する考察を行った

Key Words : *traffic volume, traffic capacity, long-term observation, data visualization*

1. はじめに

高速道路において、車両検知器（以下「検知器」とする）などで観測された交通流データが長期間にわたって蓄積されている。この交通流データを分析することで高速道路の利用実態がどのように変動しているかを把握することができる。そのような分析を行った既存研究は複数あり、その中でも交通量の変動を交通需要（利用者数）の変動とみなして分析を行った研究¹⁾は多数あるが、交通容量の変動が交通量に与える影響を考慮している研究は相対的には少ない。しかし、実際には交通容量の変動も存在し、越らの研究⁷⁾、降水時の容量低下を示した研究⁸⁾、日没時に交通容量が低下することを指摘した研究⁹⁾、高速道路の交通容量の経年変化を示した研究¹⁰⁾などが存在する。

上述の交通容量に関する研究は、ある特定の地点の時系列的な変化のみを分析対象としており、空間的な変化

に関する分析を行っていない。特定の地点において交通容量の低下が確認できているのであれば、その他の地点においても低下している可能性が十分にある。交通容量の低下が分析地点特有のものなのか、もしくはドライバーの運転挙動の変化などによるものなのか、その原因を考察するためには、空間的な変化を確認することが有用であろう。また、交通容量に限らず、その他の交通現象に関しても、上流側や下流側の影響を考慮するためには、空間的な変化を確認することが有効である。

空間的な変化を確認するためには可視化が有効である。交通流データの値を色を用いて路線図上に表示させることによって、交通流データの空間的な変化や特徴を容易に把握することが可能になる。しかし、これまでに特定の検知器で観測された交通流データを時系列的に可視化するツールは存在している¹¹⁾が、複数の検知器で観測された交通流データを空間的に可視化するツールは少ない。もちろん、一般ドライバー向けに多用される道路交通情

報のように、渋滞情報を赤などの特定の色を用いて空間的に可視化しているツールは多数存在する。しかし、それらはデータの値の連続的な変化を表現することができないため、分析に用いるのは難しい。以上より、交通流データの連続的な変化を空間的に可視化することができるツールを構築する必要がある。

そこで本研究では、複数の検知器で観測された交通流データの値を色を用いて空間的に可視化するツールを構築するとともに、阪神高速道路全線において、村上らが提案した方法¹⁰⁾で推定した交通容量と渋滞流における平均密度、交通量、速度の経年変化を可視化し、空間的な変化を確認する。その結果より交通容量の経年変化に対する考察を行う。

2. 検知器データ可視化の方法論

(1) 可視化対象とするデータの概要

本研究は、検知器で長期間にわたって観測された交通流データを対象としており、交通流データの値を色を用いて可視化する。検知器で観測された交通流データであれば、データの種類の問わず可視化することが可能である。また、本研究では阪神高速道路を対象としているが、その他の高速道路についても可視化できるように構築している。

(2) ネットワークの表示方法

本研究ではある特定の検知器の交通流データではなく、複数の検知器の交通流データをネットワーク上に可視化する。このようにネットワークを表示する場合、2つの方法が考えられる。ひとつは実際の地図のように縮尺を調整し表示する方法である。この方法では検知器の設置場所と地図の位置関係が把握しやすいという利点がある。もうひとつは縮尺を無視し、独自にネットワークをデザインする方法である。この方法では前者の方法の利点は失われるが、道路案内図などで用いられているように、人間の眼に見やすいデザインにすることでデータの値を認識することが容易になり、特徴的な現象を発見できる可能性が高まる。本研究では後者の方法を用いる。これは、本研究の分析対象である阪神高速道路のように都心

部に密なネットワークを形成していると、前者の方法では交通流データを表示できない箇所が出てくるためである。一方で、都市間高速道路などそれほどネットワークが密でない高速道路であれば、前者の方法で後者の利点を確保できるため、前者の方法を用いることが有効である。

(3) データに割り当てる色

本研究では、データの値は基本的に表示する図形の色で表す。日下部ら¹¹⁾は、色を用いてデータの値を表示させる場合、「心理的な」色の変化量（専門的には色差と呼ぶ）とデータの値の変化量に比例関係を成り立たせることが重要であると述べている。これは、比例関係が成り立っていないと見当違いな特徴を認識してしまう可能性があるためである。例えば、図-1のように色にデータの値が割り当てられるとき、色のみで判断すると多くの人が左の色と中央の色の色差の方が中央の色と右の色の色差よりも大きく感じられるだろう。しかし、実際は中央の色と右の色のデータの値の差の方が大きいので、実際に認識したい特徴とは異なった解釈をしてしまう。このようなことを避けるために、色の変化量とデータの値の変化量の関係には注意する必要がある。

多くの場合、コンピュータで色を表示させる場合は、R、G、Bという3つの数値の組で表されるRGB値というものが用いられる¹²⁾。RGB値はR、G、Bの各値をそれぞれ0から255まで変化させて色を指定している。とくに、R : G : B = 1 : 1 : 1の割合で混合させると無彩色を呈し、R=G=B=0だと黒、R=G=B=255だと白となる。しかし、RGB値が増加するにつれて急激に輝度が増加するため、RGB値の比を1 : 1 : 1に保ったまま0から255まで変化させたとしても無彩色の輝度はRGB値に比例して変化しない。この問題を解決するために、日下部らが提案したCIE1976均等知覚色空間（以下L*a*b*空間とする）を用いる方法¹³⁾を使用する。

(4) L*a*b*空間

L*a*b*色空間の説明は、日下部らの説明¹³⁾が非常に分かりやすいため、一部抜粋し、次の段落に引用する。

L*a*b*の色空間は、L*軸、a*軸、b*軸の3軸によって構成され、色空間内の座標値によって特定の色を指定することができる。L*a*b*の色空間で任意の2色の色差は座標値の差分を用いて

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (1)$$

で定義されることから、日下部らの可視化では、観測値の変量に比例するように色差 ΔE を設定する。このような条件で色の割り当てを行うとき、各観測値に割り当てられる色は、観測値のL*a*b*空間上での線形写像を任意の

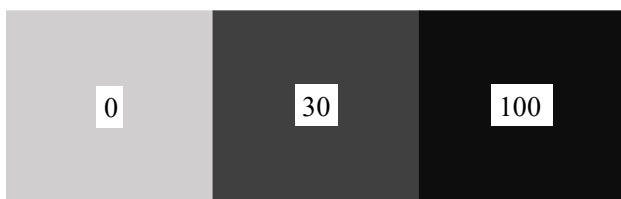


図-1 誤った認識をする例

平行移動したものとなることから、結果として、 $L^*a^*b^*$ 空間内の任意の直線上の色を割り当てることとなる。この色の割り当てを実際に計算する際には、 $L^*a^*b^*$ 色空間からいったんXYZ表色系とよばれる別の表示方法に変換し、そこからさらにsRGBの規格によるRGB値に変換する。

これまでは、データの値を可視化する場合、色の割り当て方法は、「赤」「黄」「青」などの特定の色を割り当てる方法、または単にRGB値に比例させる形で割り当てる方法がよく用いられていた。しかし、これらの色の割り当て方法では必ずしもデータの変動を適切に表現することはできない。日下部らが提案した $L^*a^*b^*$ 色空間で色を割り当てる方法¹⁾を用いれば、色の変動とデータの値の変動を一致させることによって、データの変動を適切に把握したり、これまでの方法では発見できなかった特徴を見逃すことなく認識できることが期待できる。

3. 交通容量の経年変化の空間分布の確認

(1) 可視化対象の路線と期間

阪神高速道路において、2003年から2014年までの10年間の交通流データが蓄積されている地点かつ渋滞流が一定以上観測されている検知器を分析対象とする。データベースには2003年3月1日から2014年6月30日までのデータが存在するが、本研究では、交通流データを暦年で区切り、グループ化して用いるため、対象となる日数が他の年に比べて少なく、季節変動による影響が大きい可能性がある2003年と2014年は対象から除外した。

(2) 分析方法

10年間の交通流データが蓄積されている検知器のうち渋滞流が一定以上の割合で存在する検知器を抽出する。抽出された検知器に関して、村上らが提案した方法⁹⁾を用いて交通容量を推定し、経年変化を可視化する。また、渋滞流に関して、交通流の特性を表す指標である密度、交通量、速度の平均値の経年変化を可視化する。これらの可視化結果より原因の考察を行う。検知器の抽出方法、交通容量の推定方法、渋滞流の経年変化の推定方法に関しては、以下の各節にて説明する。

(3) 渋滞流を観測した検知器の抽出方法

渋滞流が一定の基準以上観測された検知器を抽出する。基準は以下のように定めた。まず、対象期間において、検知器で観測された交通量と速度より密度を算出する。その密度の出現回数を1台/km単位で集計しヒストグラムを作成する。密度が40台/km以上80台/km未満について、1台/km

ごとに、10年間分の出現数の合計を算出し、いずれか1つの密度でそれが1000回以上（すなわち、5000分以上）を記録した検知器のみを分析対象とする。

(4) 交通容量の経年変化の推定方法

検知器より得られた交通量のデータから暦年の交通容量を算出し、その値を用いて交通容量の1年あたりの変動を推定する。交通容量の推定には99%ile交通量を用いる。渋滞流が一定以上の割合で発生していれば、臨界密度付近の交通流が定期的に実現していると考えられるため、実績交通量の99%ile値を交通容量とみなすことは妥当であろう。真に最大の時間交通量を用いずに上位1パーセントを除外するのは、異常値の影響を緩和するためである。村上らが提案したこの方法⁹⁾を用いて交通容量の経年変化を推定する。各暦年で推定した交通容量を、以下の線形式

$$y = ax + b \quad (2)$$

$$x: \text{暦年} - 2004$$

を用いて最小二乗法によるあてはめを行う。この式のパラメータ a は1年あたりの交通容量の変化量を表す。

(5) 渋滞流の経年変化の推定方法

渋滞流における密度、交通量、速度の平均値を暦年ごとに算出し、その値を用いて各平均値の1年あたりの変動を推定する。抽出された検知器について、密度が40台/km以上80台/km未満の区間の対数頻度（10年間で各密度が出現した回数の常用対数）に対して、最小値が0になるように（対数頻度）－（対数頻度の最小値）を計算する。これに対して大津の方法を用いて閾値を求め、その値を臨界密度とする。この臨界密度以上の観測点に関して、暦年ごとの平均密度、平均交通量、平均速度を算出する。この値を用いて、交通容量と同様に最小二乗法を用いてパラメータ a を算出する。

(6) 交通容量と渋滞流の経年変化の空間分布

分析対象とした検知器に関して、交通容量、渋滞流の密度、交通量、速度の平均値の4つの経年変化を可視化した結果を図2、3、4、5に順に示す。経年変化の増減を容易に確認できるようにするため、色の割り当てを正負で別々に行っている。赤色が強いほど増加しており、青色が強いほど低下している。

99%ile交通量に関して見ると、全体的に低下傾向にあり、その中でも守口線、大阪港線、池田線上りは特に大きく低下していることが確認できる。また、神戸線は兵庫側の路線全体にわたって低下傾向にあるが、下り線の一部において増加が確認できる。

渋滞流における密度に関して見ると、低下している場所と増加している場所の割合はほとんど変わらない。一方で、交通量と速度に関しては明らかに低下している場所が多い。

詳細を見てみると、神戸線、守口線、池田線下り、大阪港線、環状線は、密度が増加しており、交通量と速度が低下していることが確認できる。一方で、池田線上り、東大阪線上りは、密度と交通量が低下しており、速度が増加していることが確認できる。

これらの特徴がよく確認できる検知器1762番と82番におけるQ-K（交通量-密度）曲線をそれぞれ図-6, 7に示す。1762番は神戸線上り23.5kp地点、82番は池田線上り7kp地点の検知器である。Q-K図上の赤色の直線は密度0~30台/kmの自由流と密度60~90台/kmの渋滞流それぞれで線形回帰を行ったものである。検知器1762番に関しては、Q-K曲線そのものは変化していないが、渋滞流の発生回数が多い場所の中心の動きに着目すると、2008年は密度50台/km、交通量1,500台/hourであるのに対し、2013年は密度60台/km、交通量1,400台/hourに移動している。一方で、検知器82番に関しては、渋滞流における回帰直線の密度60台/kmの点を見ると、交通量が2003年は1500台/hourであるのに対し、2012年は1,300台/hourであり、渋滞流側のQ-K曲線が全体的に下がっている。

(7) 結果の考察

99%ile交通量を用いて推定された交通容量の経年変化は全体的に低下傾向であるが、その中で渋滞流の特徴を見ると2つのパターンが存在することがわかる。ひとつは密度が増加し交通量と速度が低下している場所である。Q-K曲線の渋滞流側は右下がりであることを考えれば、これは、この地点のQ-K曲線の形状が変化しているのではなく、下流側のボトルネックの容量低下の影響で、実現する交通流の状況が変わっている可能性を示唆する。もうひとつは、密度と交通量が低下し速度が増加している場所である。これはQ-K曲線の渋滞流側の線が下がった可能性を示唆する。このことは、この地点そのもので、渋滞流内において同一密度での交通量が減少していることを示す。道路のハード的な更新がない箇所については、運転挙動や車両性能の変化等による影響が考えられる。

神戸線下りと東大阪線上りにおいては99%ile交通量が大きく増加した地点がある。これらの地点の直近には本線料金所（芦屋、長田）があることに注意したい。分析期間はETCが大幅に普及した時期であり、それによってこれらの料金所の車両処理能力が向上したことが交通容量を増加させ、その結果99%ile交通量も増加したと考えられる。

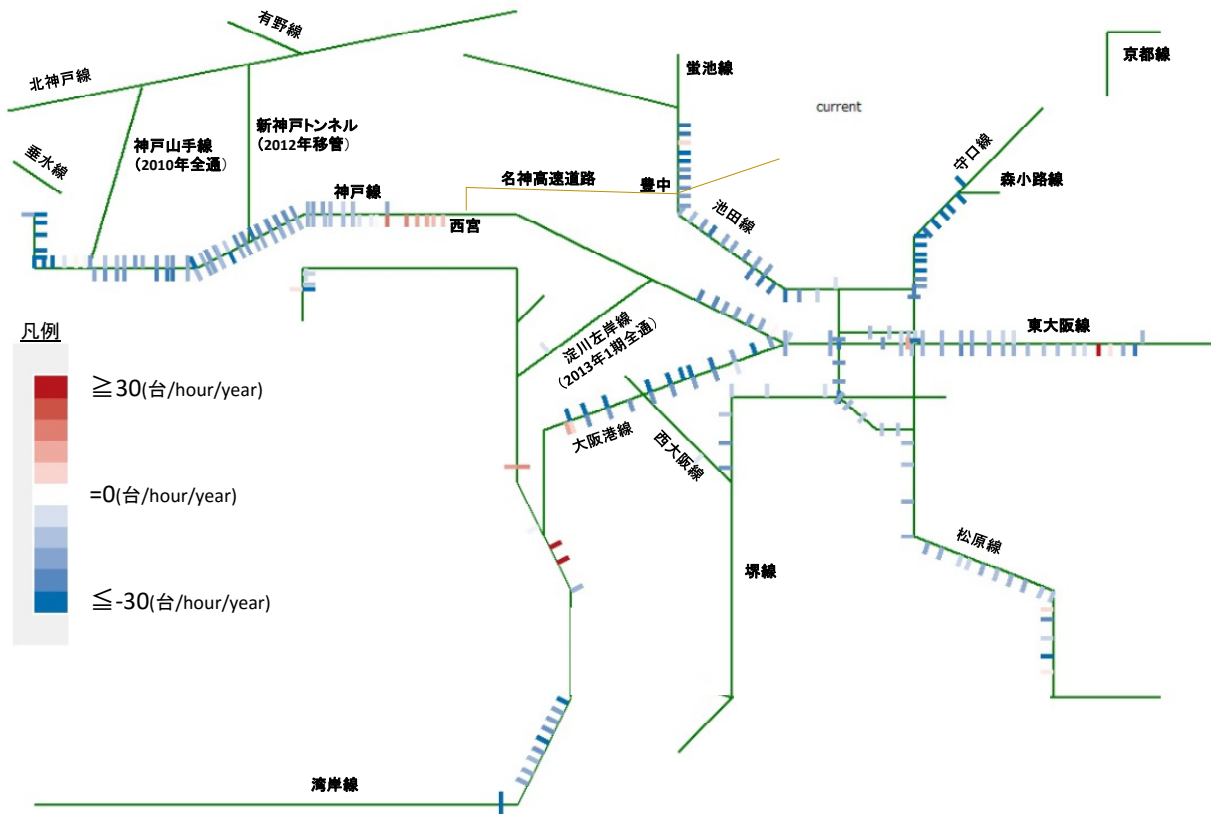


図-2 99%ile 交通量の経年変化（台/hour/year）の空間分布

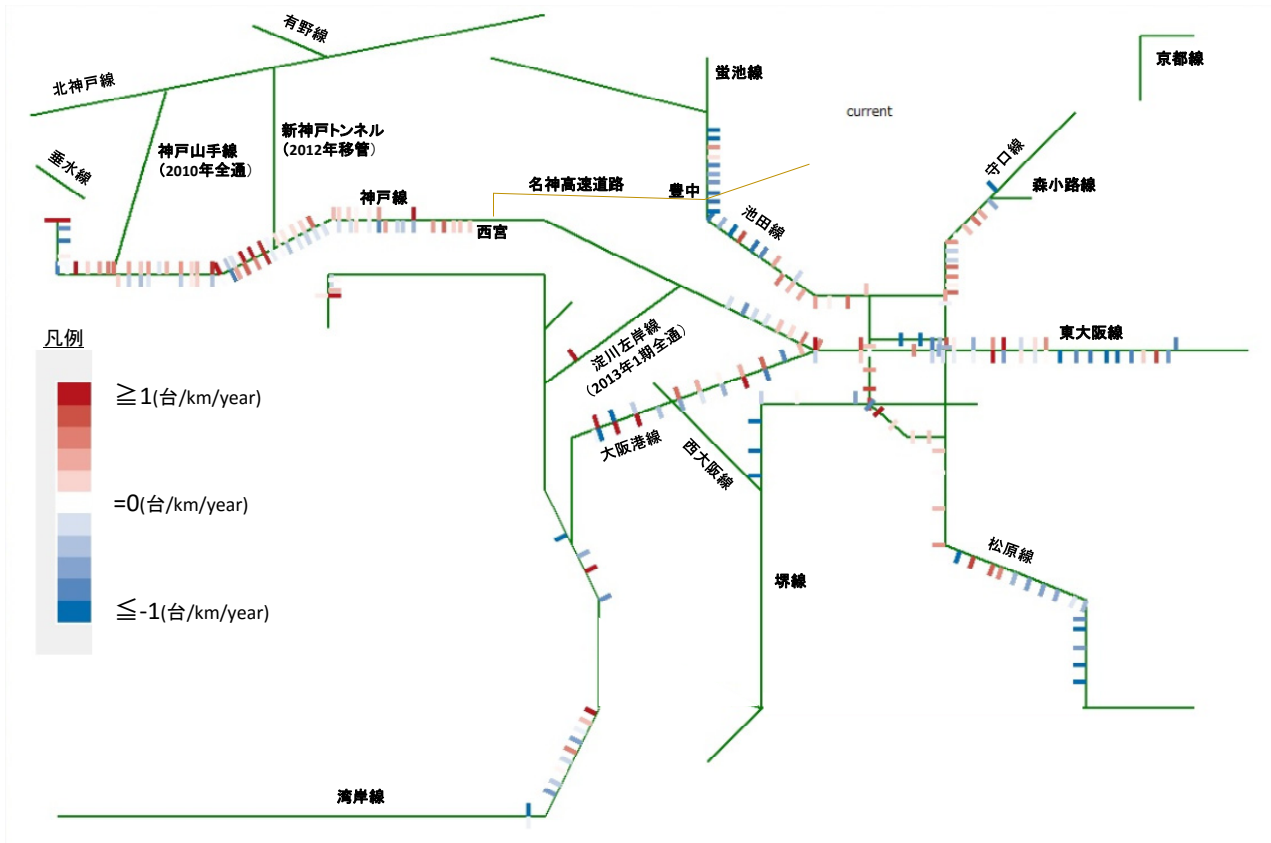


図-3 渋滞流における平均密度の経年変化（台/km/year）の空間分布

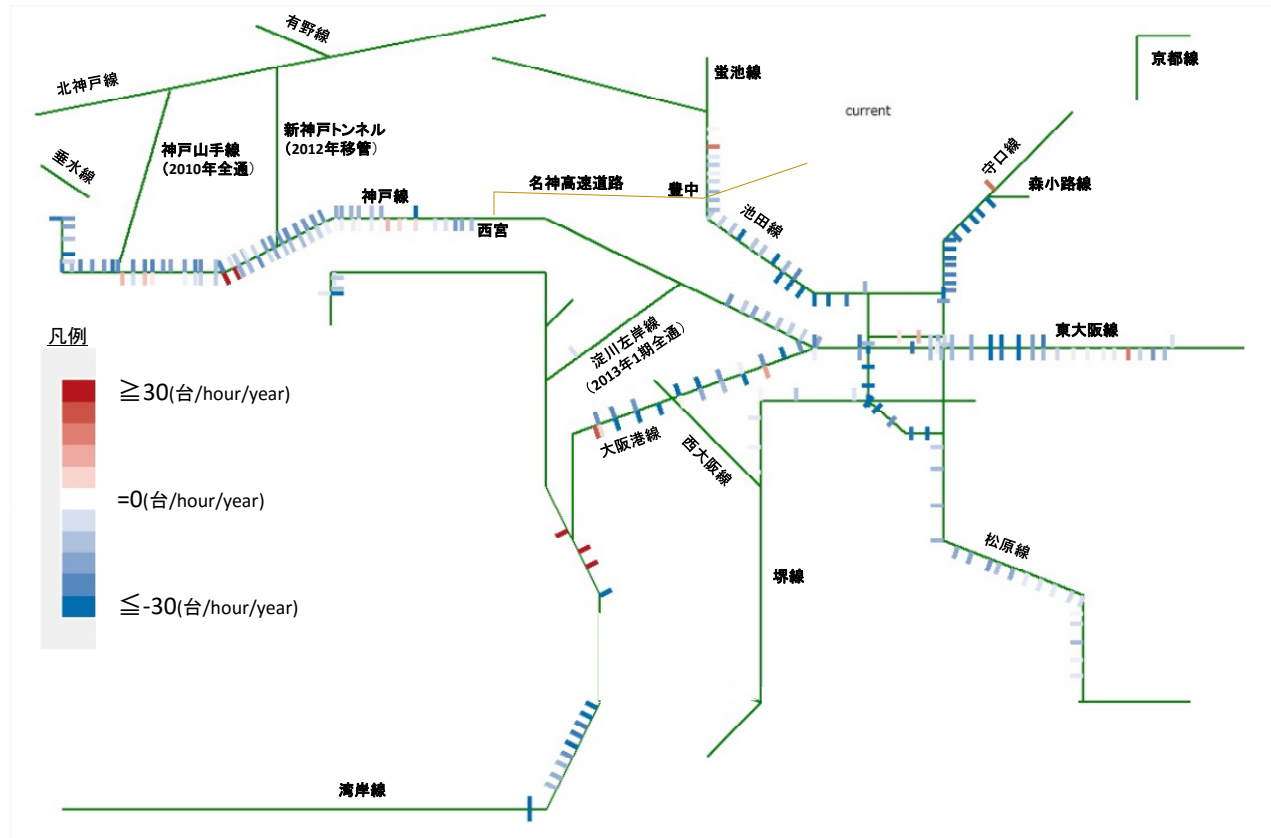


図-4 渋滞流における平均交通量の経年変化（台/hour/year）の空間分布

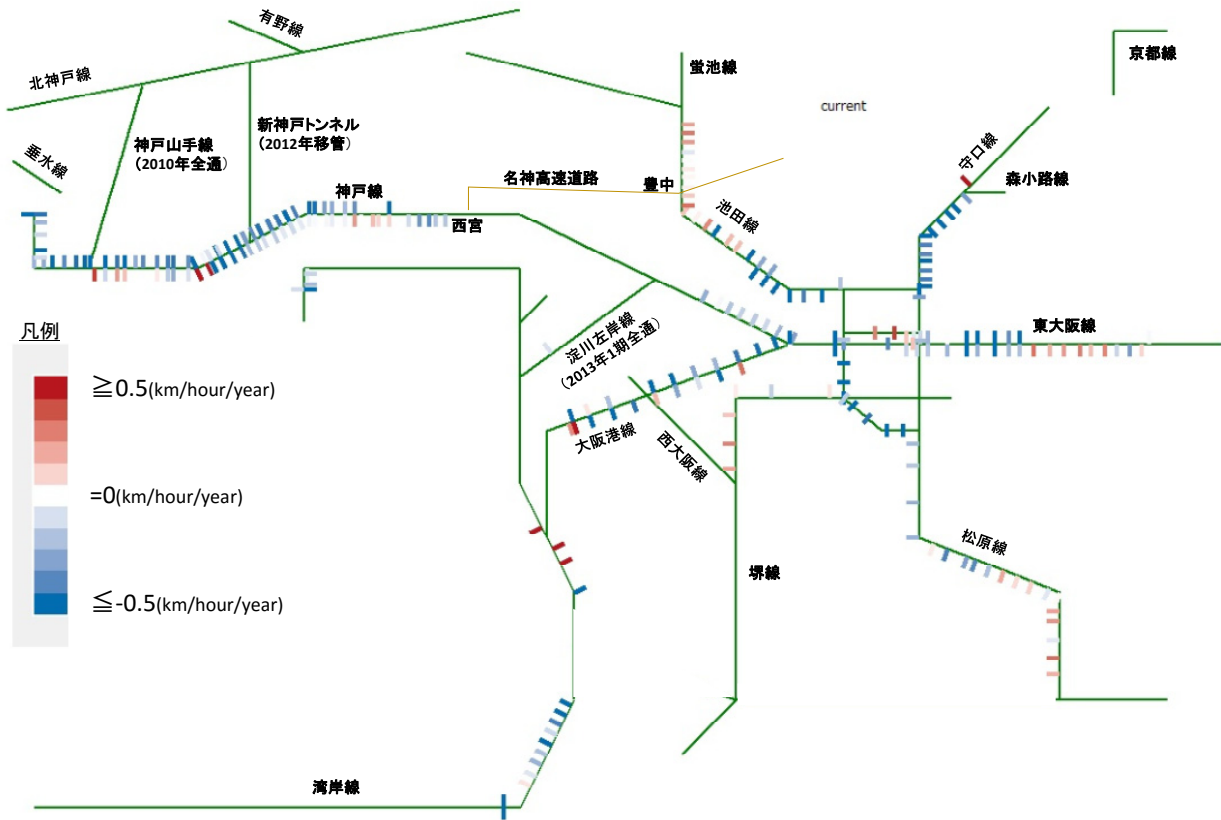


図-5 渋滞流における平均速度の経年変化 (km/hour/year) の空間分布

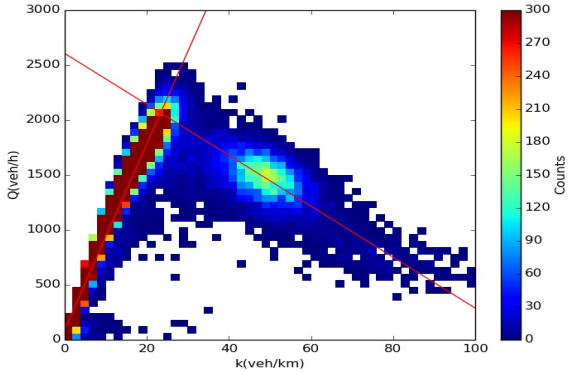


図-6(a) 検知器番号 1762 番における Q-K 曲線 (2008)

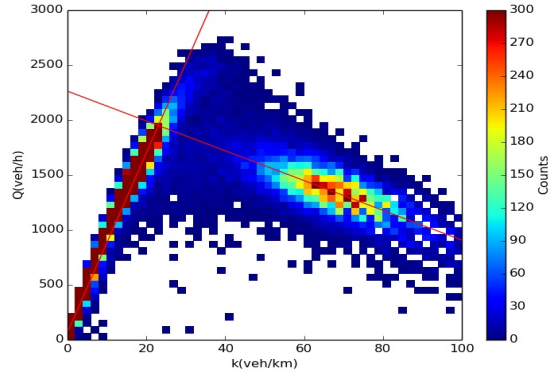


図-7(a) 検知器番号 82 番における Q-K 曲線 (2003)

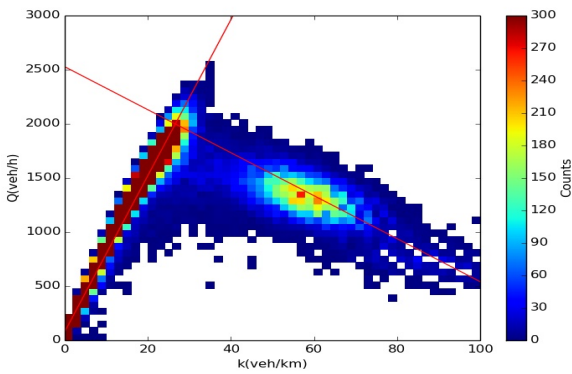


図-6(b) 検知器番号 1762 番における Q-K 曲線 (2013)

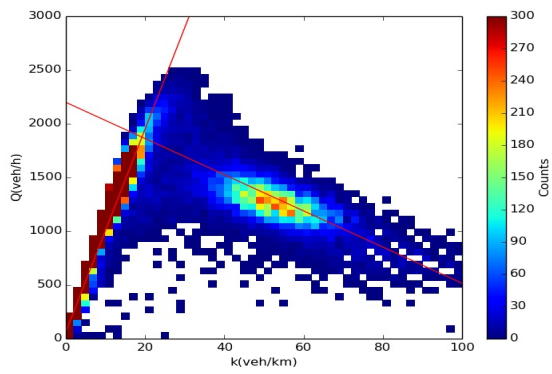


図-7(b) 検知器番号 82 番における Q-K 曲線 (2012)

4. まとめと今後の課題

本研究では、阪神高速道路を対象として、交通容量の経年変化の他、渋滞流における平均密度、交通量、速度の経年変化の空間分布を確認した。その結果より、交通容量の低下は、おおむねネットワーク全体にわたって起こっていること、下流側の地点の交通容量の変動が上流側の地点に影響を与えている可能性がある場所、車両性能やドライバーの運転挙動の変化などによって観測地点そのものの交通容量が低下している可能性がある場所などを確認した。

新たな路線の供用や、ジャンクションなどの整備によって高速道路のネットワーク化が進むと、利便性が向上する一方で、渋滞ポイントが空間的に移動することも懸念される。また、2016年4月より運用が開始された首都圏の料金水準の統一は、高速道路をより面的に、効率的に利用していくことも意図した施策であり、本研究で提案した可視化による分析方法は、以上のような課題や施策を検討する上で有用であろう。

最後に課題を述べる。本研究では、分析対象とする検知器を抽出する際に、便宜的に一定の条件を与えている。その結果、抽出すべき検知器を除外していたり、不適格な検知器を抽出している可能性がある。交通流特性は地点によって異なるため、それぞれの特性に適した条件設定を行う必要がある。これを膨大なデータに対して効率的に行うためには、例えば機械学習の手法などを応用することにより、より適切な条件設定の方法論を確立する必要があるだろう。

参考文献

- 1) 飯田恭敬, 高山純一: 高速道路における交通量変動特性の統計分析, 高速道路と自動車, Vol.24, No.12, pp.22-32, 1981.
- 2) 村上康紀, 吉井稔雄, 桑原雅夫: 都市高速道路における OD 交通量の日変動に関する研究, 土木計画学

- 研究・講演集, Vol.22, No.2, pp.251-254, 1999.
- 3) 井料隆雅, 岩谷愛理, 朝倉康夫: 都市高速道路における時間帯別流入交通量の週変動分析, 交通工学研究発表会論文集, Vol.27, pp.173-176, 2007.
- 4) 金進英, 宇野伸宏, 倉内文孝, 吉村敏志, 萩原武司: 阪神高速道路における時間帯別ランプ間 OD 交通量の変動分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.39, CD-ROM(4 pages), 2009.
- 5) 小池真美, 井料隆雅, 日下部貴彦, 朝倉康夫: 時間帯別料金割引制度が交通量パターンに与える影響の実証分析, 交通工学研究発表会論文集, Vol.29, p.229-232, 2009.
- 6) 上田大樹, 井料隆雅, 朝倉康夫: 長期 ETC 統計データによる異なるランプ間 OD 交通量と旅行時間の相関分析, 交通工学, Vol.49, No.3, p.43-52, 2014.
- 7) 越正毅, 桑原雅夫, 赤羽弘和: 高速道路のトンネル、サグにおける渋滞現象に関する研究, 土木学会論文集, No.458, pp.65-71, 1993.
- 8) 割田博, 赤羽弘和, 船岡直樹, 岡村寛明, 森田純之: 首都高速道路におけるキャパシティポールの抽出とその特性分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.29, CD-ROM(4 pages), 2004.
- 9) Kusakabe, T., Iryo, T. and Asakura, Y.: Capacity Reduction and its Seasonal Change at a Bottleneck on an Urban Expressway during Sunset, Proceedings of the 11th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies, pp.679-687, 2006.
- 10) 村上友基, 井料隆雅, 中田諒, 萩原武司: 車両検知器データを用いた交通流の長期モニタリング, 土木計画学研究・講演集, Vol.51, CD-ROM(6 pages), 2015.
- 11) 日下部貴彦, 井料隆雅, 朝倉康夫: 車両検知器データを用いた交通流可視化技術の開発, 交通工学, Vol.43, No.5, pp.59-68, 2008.
- 12) 小林光夫: 色再現・色管理・色の見え, 日本色彩学会誌, Vol.26, No.1, pp.18-29, 2002.
- 13) 日本色彩学会: 新編色彩科学ハンドブック, 東京大学出版会, 1989.