

都市間高速道路単路部におけるボトルネック位置の推定手法に関する研究*

A Study on Estimating the Bottleneck Location on Motorways*

村重至康**・野中康弘***・柳沼秀樹****

By Yoshiyasu MURASHIGE**・Yasuhiro NONAKA***・Hideki YAGINUMA****

1. はじめに

都市間高速道路における交通集中渋滞は主にサグ・上り坂、トンネル坑口部、インターチェンジ合流部、車線数減少部などで発生している。社会資本整備、とりわけ道路整備に対する逆風のすさまじい昨今において、ボトルネック地点を含むインターチェンジ区間全線を拡幅するといった大規模な改築事業の実施は難しく、付加車線設置による局所的かつ対症的な対策や交通分散を狙った情報提供によるソフト対策が主流となっている。このような状況下では、渋滞対策によって交通集中渋滞を完全解消することは難しく、渋滞対策後におけるボトルネックは時に下流側に先送りされ、渋滞流中の別のボトルネックが顕在化する事態を引き起こすなど、期待する効果を発揮できないことがある。つまり、局所的な渋滞対策の立案にあたっては、渋滞対策後における渋滞状況の変化を的確に予測することが重要であり、そのためには潜在的なボトルネック位置を把握することが必要不可欠である。

そこで、本論では都市間高速道路の単路部に着目して、車両感知器データを用いた巨視的な潜在的ボトルネック位置の推定手法について提案する。

2. 既往研究レビューと本研究の位置付け

都市間高速道路単路部ボトルネックの地点特性に関する代表的な研究には大口ら¹⁾や小谷ら²⁻³⁾の研究がある。大口らは同程度の勾配をもつサグにおいて渋滞が発生するサグと渋滞が発生しないサグがあることに着目し、

*キーワード：交通容量，交通渋滞，ボトルネック

** 非会員，修(工)，(株)高速道路総合技術研究所
(東京都町田市忠生1-4-1, TEL 042-791-1621,
E-mail y.murashige.aa@c-nexco.co.jp)

*** 正員，博(工)，(株)道路計画
(東京都豊島区東池袋2-13-14 リナズ機械ビル5階，
TEL 03-5979-8855, E-mail y_nonaka@doro.co.jp)

**** 学生員，修(工)，東京工業大学大学院
(東京都目黒区大岡山2-12-1, TEL 03-5734-2577,
E-mail yaginuma@plan.cv.titech.ac.jp)

それぞれの地点の道路幾何構造特性を分析した結果、渋滞直前の速度低下はドライバーの視認性に問題があることを指摘している。小谷らは自由走行状態下における追従走行調査から、速度低下する地点とボトルネック地点の関係性を示すと同時に地点ごとの走行速度と車間距離から連続的な交通容量の算出を試みている。さらに筆者ら⁴⁾は走行調査を基にした追従行動からアプローチし、渋滞定着地点と道路幾何構造の関係性を見出している。

一方、潜在的ボトルネック位置を直接的に捉えるものではないが、道路幾何構造と交通容量の関係性を示すことにより、潜在的ボトルネックを探索することが可能である。吉川ら⁵⁾は暫定2車線区間を対象として、道路幾何構造要因を説明変数とした重回帰モデルを構築し、交通容量の推定を試みている。さらに、福島ら⁶⁾はこれを片側2車線・片側3車線区間に拡張している。

これらの研究はボトルネック位置の推定に一定の示唆を与えるものの、まだ完結を見ていないものとする。そこで、本研究ではサンプル数の限られる走行調査の実査を伴わず、車両感知器データを活用し、潜在的ボトルネックが顕在化する前の出来る限り早い時点で潜在的ボトルネック位置を巨視的に把握することの重要性を念頭に置き、実務上の汎用性をもったボトルネック位置の推定手法の構築を目指すものである。

3. 分析方法

分析対象は都市間高速道路とし、渋滞判定用の車両感知器(約2km間隔で設置)が整備されている路線・区間から、下記の約100km区間を抽出する。また、分析対象年は潜在的ボトルネックが顕在化する過程を追跡可能とするため、渋滞状況が変化した年次を選定する。

[片側2車線区間]

中央道(下) 平成19年：圏央道八王子JCT供用
名神(上) 平成10年：東海北陸道一宮JCT接続

[片側3車線区間]

東北道(上) 平成11年：鹿沼～宇都宮6車線化
東名(上) 平成15年：海老名SA付加車線設置

潜在的ボトルネックの探索はまず、日下部ら⁷⁾の交通流可視化手法を準用し、車両感知器速度を可視化するこ

とで相対的に速度低下している地点を潜在的ボトルネックとして抽出する．この判断の是非は抽出した潜在的ボトルネックが周辺交通環境の変化によって顕在化する過程を追跡することで確認する．次いで、潜在的ボトルネックとして設定した地点の定量的評価として、QV形状に着目した渋滞判定モデルの構築を試みる．

4. 交通流可視化による潜在的ボトルネックの探索

日下部らは観測値の変化量と色の变化に一定の対応関係を持たせるためには、図-1に示すように均等知覚色空間において、配色を直線的に設定すべきとしている．

本研究では赤色をベースに明度変化を直線的に扱う方法とし、配色の設定は速度(5分間値の車線合計)に対する赤色256階調を式(1)-(3)に示す一次式で与える(図-2)．次いで、ケースAの基本ケースから上下限速度設定値を順次変更していき、最も地点間速度差が明確にとらえられる条件をトライアルアンドエラーにより探索する．

$$\text{ケースA} : C_v = 255 - 2V \quad (1)$$

$$\text{ケースB} : C_v = \text{Int} \left\{ 255 \left(1 - \frac{V}{V_{\max}} \right) \right\} \quad (2)$$

$$\text{ケースC-E} : C_v = \text{Int} \left\{ 255 \left(1 - \frac{V - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}} \right) \right\} \quad (3)$$

ここに、 C_v は赤色の明度、 V は車両感知器速度を表す．ただし、 $V_{\max} = 90 \text{ or } 100$ 、 $V_{\min} = 70 \text{ or } 80 \text{ or } 90$

$C_v < 0$ の場合は $C_v = 0$

$C_v > 255$ の場合は $C_v = 255$

車両感知器速度の可視化処理結果を中央道(下)について例示する．日下部らが指摘しているように観測値の変化量に対する色差の変化量が小さいと、典型的な渋滞以外その特徴が見出しにくく、ケースAとBでは地点間の相対差がほとんど見いだせない．ケースC・D・Eとすると、地点間の相対的な速度差が明確になり、中央道(下)の場合はケースDで最も地点間速度差が認識しやすい状態が得られる(図-3)．

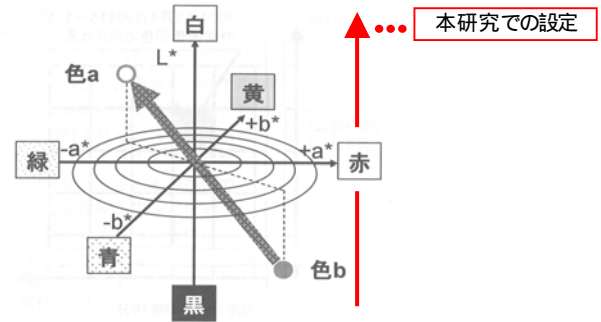


図-1 配色の設定方法

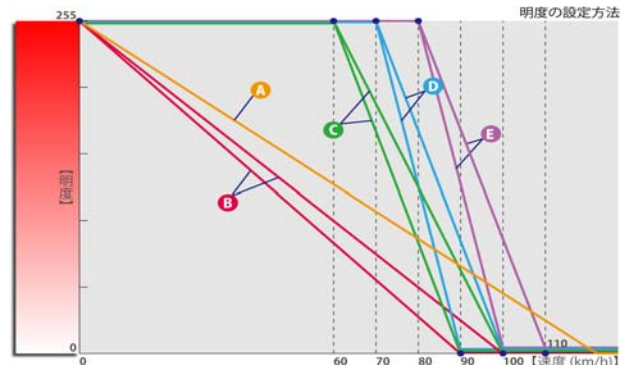


図-2 速度に対する明度の割り当て方法

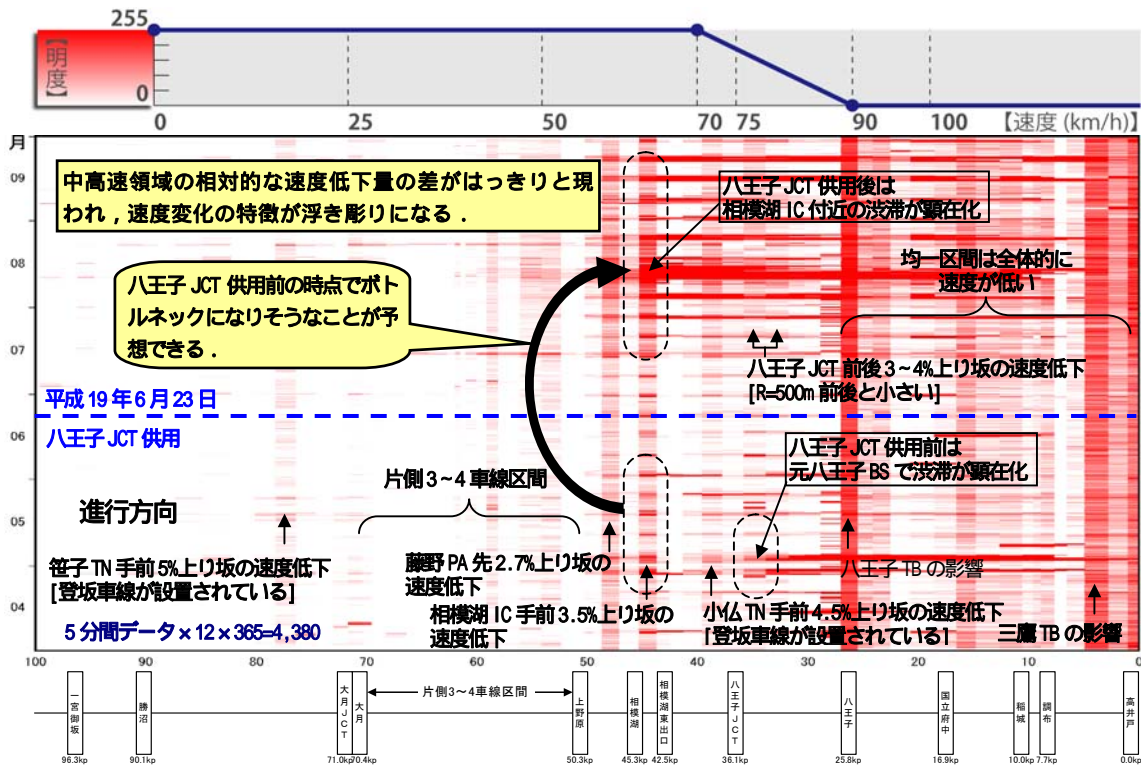


図-3 車両感知器速度の可視化処理結果(中央道下り線 平成 19 年 4 月 ~ 9 月 7 時台の例)

図-3に示すケースD(上限速度90km/h)の可視化処理結果から特に八王子以西において、現在ボトルネックとなっている地点の速度低下がみてとれ、いずれも縦断勾配の影響が大きいことが現われている。さらに、八王子ICTの供用で顕在化した相模湖IC付近の潜在的ボトルネックは供用前の段階で予測可能であったことがわかる。

5. 潜在的ボトルネック判定確率モデルの構築

交通流の可視化分析結果は、主観的な側面を多分に含んでいることから、これを定量化することを試みる。本研究では地点速度の変化を非渋滞領域におけるQV形状から捉えることとし、交通流可視化分析結果から得られた知見の妥当性を検証する。

(1) QV形状の定量化

非渋滞領域におけるQV形状を回帰すると、非線形になることが多い事実はあるが、本研究では説明変数としてのハンドリングのしやすさを考慮して、図-4に示すようにQV形状から交通量が少ない状態の速度 v_1 と交通量増加に伴う速度低下量 dv を用いて定量化する。集計速度は平均値と85%タイル値の2ケースについて実施し、速度を集計する交通量階層は、2車線区間の場合で $q_1 \sim q_2$ を51~100台/5分、 $q_3 \sim q_4$ を201~250台/5分、3車線区間の場合で $q_1 \sim q_2$ を101~150台/5分、 $q_3 \sim q_4$ を301~350台/5分と設定する。なお、集計対象から渋滞領域を除くため、70km/h以上の速度を対象とする。

(2) モデリング

ボトルネック判定モデルの構築にあたっては、ボトルネックのなりやすさを確率的に表現することを意図してBinary-Logit Modelを適用する。モデルの構造式は式(4)のとおりである。

$$P_{BN_i} = \frac{\exp(V_{BN_i})}{\exp(V_{BN_i}) + \exp(V_{nonBN_i})} \quad (4)$$

$$V_{BN_i} = \alpha \cdot v_{1i} + \beta \cdot dv_i$$

$$V_{nonBN_i} = 0$$

ここに、

- P_{BN_i} : 地点iをボトルネックと判定する確率
- V_{BN_i} : 地点iのボトルネック判定関数
- V_{nonBN_i} : 地点iの非ボトルネック判定関数
- v_{1i} : 地点iの交通量が少ない状態(q_1 - q_2)の平均or85%タイル速度(km/h)
- dv_i : 地点iの交通量増加に伴う速度低下量(km/h)
- α, β : パラメータ

3) データセット

交通流可視化分析の結果から前後区間と比較して相対的に速度低下が認められる車両感知器位置、渋滞統計データによる渋滞発生地点および当該地点の道路幾何構造を勘案して、各QV形状データにボトルネック選択フラグを対応させる。ボトルネック選択フラグの設定条件は、1)既に渋滞が顕在化している地点を設定、2)交通流の可視化処理結果から前後区間と比較して相対的に速度低下している地点(潜在的ボトルネックと目視判断した地点)を設定、3)道路幾何構造の確認として、上記抽出区間がサグ・上り坂・トンネル部など、既往知見でボトルネックになりやすい地点に位置しているかを確認するとともに、付加車線設置区間など前後区間に比較して車線数が多い区間や本線料金所など別の要因が速度低下に影響している地点に位置するデータを排除する(表-1)。

(4) パラメータの推定結果

パラメータの推定結果を表-2に示す。修正尤度比をみると、中央道(下)が0.645 (Model1: 平均速度)、0.692 (Model2: 85%タイル速度)と非常に高く、その他の路線でも比較的良好な結果が得られており、各路線とも良好な適合度であることがわかる。また、各パラメータのt値も高く、中央道を除いて5%有意水準を満たしており、統計的にもパラメータの有意性が確認できる。なお、中央道(下)はサンプル数が少ないために5%有意水準を満たしていない。さらに、ボトルネックの判定確率を確率0.5以上としての中率を算定すると、各路線とも高い中率が得られることが確認できる。

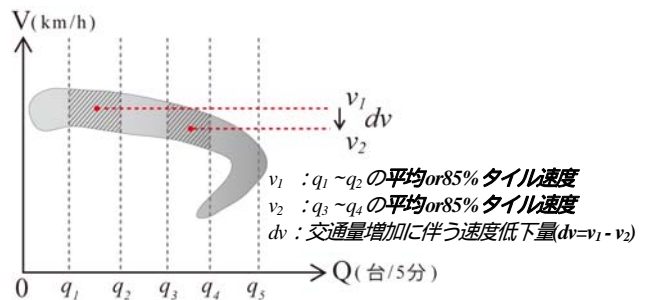


図-4 QV形状定量化の方法

表-1 データセットの方法

| 車両感知器NO. | QV形状データ v_1 (km/h) dv (km/h) | 渋滞顕在化 | 可視化結果 | 道路幾何構造 | ボトルネック選択フラグ |
|----------|-------------------------------------|-------|-------|--------|-------------|
| 1 | 101.2 5.2 | | | | 0 |
| 2 | 98.1 3.1 | | | | 0 |
| 3 | 83.6 8.2 | | | トンネル | 1 |
| 4 | 96.3 4.3 | | | | 0 |
| 5 | 87.5 7.9 | | | サグ | 1 |
| 6 | 102.2 2.7 | | | | 0 |
| 7 | 72.1 9.3 | | | 本線料金所 | 0 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |

表-2 パラメータの推定結果

| 車線数 | 路線 | 項目 | Model 1 | | Model 2 | |
|-----------|------------------------|----------------------|----------------|---------|----------------|---------|
| | | | (平均速度を採用) | | (85%タイム速度を採用) | |
| 2車線 区間 | 中央道(下) n=21 | $\alpha: v_l$ のパラメータ | -0.264 | (1.827) | -0.237 | (1.613) |
| | | $\beta: dv$ のパラメータ | 2.937 | (1.832) | 2.872 | (1.595) |
| | | 修正尤度比 的中率 | 0.645 0.905 | | 0.692 0.905 | |
| | 名神(上) [名古屋] n=42 | $\alpha: v_l$ のパラメータ | -0.053 * | (3.131) | -0.055 * | (3.352) |
| | | $\beta: dv$ のパラメータ | 0.745 * | (2.855) | 0.799 * | (3.072) |
| | | 修正尤度比 的中率 | 0.305 0.762 | | 0.328 0.786 | |
| 3車線 区間 | 東北道(上) n=36 | $\alpha: v_l$ のパラメータ | -0.031 * | (2.890) | -0.015 * | (2.547) |
| | | $\beta: dv$ のパラメータ | 0.432 * | (2.666) | 0.258 | (1.894) |
| | | 修正尤度比 的中率 | 0.265 0.750 | | 0.134 0.611 | |
| | 東名(上) n=34 | $\alpha: v_l$ のパラメータ | -0.034 * | (3.256) | -0.034 * | (3.149) |
| | | $\beta: dv$ のパラメータ | 0.738 * | (3.013) | 0.854 * | (2.867) |
| | | 修正尤度比 的中率 | 0.485 0.853 | | 0.473 0.853 | |

カッコ内は値 / は値が5%有意

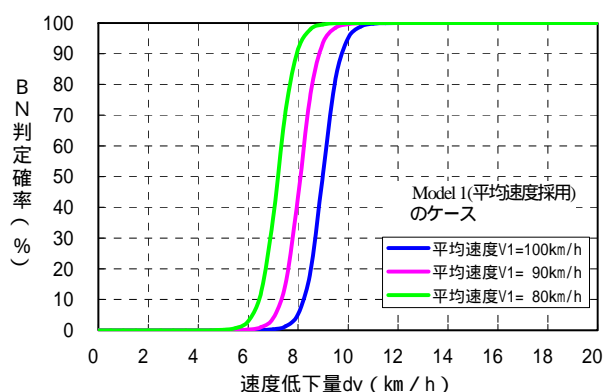


図-5 ボトルネック判定確率曲線(中央道(下))

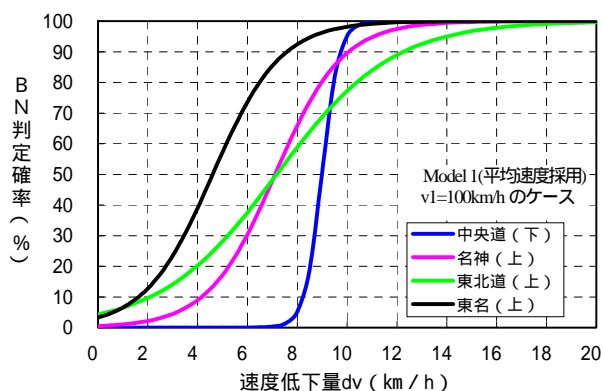


図-6 ボトルネック判定確率曲線の路線間比較

(5) 感度分析

中央道(下)における平均速度 v_1 と速度低下量 dv の変化によるボトルネック判定確率曲線を図-5に、平均速度 v_1 が100km/hの場合における各路線のボトルネック判定確率曲線を図-6に示す。図-5から平均速度 v_1 が低く、速度低下量が大きいとボトルネックになりやすくなる様子がわかる。また、図-6から縦断線形が起伏に富んだ中央道(下)のような路線では速度低下量に対するボトルネック判定確率の感度が高いが、それ以外の路線では速度低下量に対する感度が低い様子がわかる。

6. おわりに

本研究では実務上の汎用性をもった巨視的な潜在的ボトルネック推定手法として、車両感知器データの速度を可視化することにより潜在的ボトルネックを探索し、QV形状に着目したボトルネック判定モデルの構築を試みた。その結果、速度に割り当てる色調を吟味することで潜在的ボトルネックを浮かび上がらせることが可能であること、速度低下量をQV形状で捉えることでボトルネックの形成されやすさが確率的に表現可能なことを提案できたものとする。特に中央道(下)のような2車線区間でかつ縦断線形が起伏に富んでいる路線ではモデルの説明力が高いことがわかった。一方で、3車線区間や起伏の緩い2車線区間ではモデルの説明力の低下が見られる。以上より、本モデルには適用範囲が存在し、より一般的なモデルへの改良が求められる。

よって、今後は上記課題の解決に向けて、速度以外の要素として、たとえば密度を説明変数とした同様のアプローチを試みるなどボトルネック判定モデルの改良に取り組んでいきたいと考えている。

謝辞：本研究を実施するにあたって、「交通ボトルネック渋滞対策手法の検討委員会(委員長：桑原雅夫東京大学教授)」において貴重なご意見を頂いた。ここに記して感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 大口敬：高速道路サグにおける渋滞の発生と道路線形との関係，土木学会論文集，No.24/ 29，pp.69-78，1995
- 2) 古市朋輝，山本修司，小谷益男，岩崎征人：都市間高速道路サグ区間での速度変動特性と隘路についての考察，土木学会論文集，No.744/ 61，pp.151-161，2003
- 3) 小谷益男，古市朋輝，児島正之，岩崎征人：高速道路単路部における連続的な交通容量推定手法とその有効性，土木学会論文集，No.737/ 60，pp.125-131，2003
- 4) 野中康弘，石田貴志，長井伸太郎：高速道路単路部における渋滞定着地点の幾何構造特性に関する一考察，交通工学研究発表会論文報告集，No.23，pp.5-8，2003
- 5) 吉川良一，塩見康博，吉井稔雄，北村隆一：暫定2車線高速道路のボトルネック交通容量に関する研究，交通工学，Vol.43，No.5，pp.48-58，2008
- 6) 福島賢一，Jing Xing，瀬戸稔和，佐藤久長：潜在的ボトルネック交通容量の推定及び交通容量の確率分布を用いた年間の渋滞予測検討，土木計画学研究・講演集，Vol.38，2008
- 7) 日下部貴彦，井料隆雅，朝倉康夫：車両感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