

車両検知器データと道路構造データを用いた 渋滞発生傾向把握と予測や評価への活用

飛ヶ谷 明人¹・児玉 崇¹・増本 裕幸¹・北澤 俊彦¹
・金 進英²・大藤 武彦²

¹正会員 阪神高速道路㈱ 計画部 調査課 (〒541-0056 大阪市中央区久太郎町 4-1-3)
E-mail:akito-higatani@hanshin-exp.co.jp

²正会員 ㈱交通システム研究所 (〒532-0011 大阪市淀川区西中島 7-1-20 第一スエヒロビル 801)
E-mail:kim.jinyoung@tss-lab.com

都市内高速道路では、道路構造や交通環境が複雑であり、交通集中渋滞の原因となるボトルネック箇所が複数存在する。ボトルネック箇所の処理能力や車線利用状況は地点によって異なるうえ、他のボトルネックとの位置関係や処理能力の大小により、顕在化していないボトルネックも多数存在すると考えられる。本稿では、車両検知器データと道路構造データを用いて、渋滞発生地点における交通容量推定モデル構築を行った。また、既存路線の試算結果から潜在的ボトルネック箇所を特定し、交通容量推定モデルの今後の交通マネジメントへの活用手法について論じる。

Key Words: 道路構造, 渋滞, 阪神高速, 車両検知器, 交通容量推定

1. はじめに

都市高速道路では、道路構造や交通環境が複雑であり、交通集中渋滞の原因となるボトルネック箇所が複数存在する。ボトルネックは合流部、サグ部など、交通需要量が容量を超過する箇所であるが、その要因は多様であり、処理能力や車線利用状況も地点によって異なる。さらに、他のボトルネックとの位置関係や処理能力の大小により、顕在化していないボトルネックも多数存在すると考えられる^{1,2)}。

図-1 に3号神戸線上り生田川入口先頭渋滞が顕在化した事例を示す。図-1 はある時間帯の時空間速度コンター図を示している。阪神高速3号神戸線の主要渋滞ポイントである摩耶出口(27.5kp)先頭渋滞が16:00前後から消失するとともに、その上流の生田川入口(29.4kp)先頭渋滞が顕在化し、定着している。午前中の時間帯を確認すると、生田川入口先頭で渋滞が発生しており、摩耶出口渋滞が延伸するに従い、つながり、潜在化していた。つまり、生田川入口先頭渋滞は摩耶出口渋滞が継続している間は延伸する渋滞に隠れていることで顕在化しないが、摩耶出口渋滞のみに効果のある渋滞対策を講じれば、生田川入口先頭渋滞が顕在化する可能性がある。

こういった渋滞対策のイタチごっこを避けるため、渋

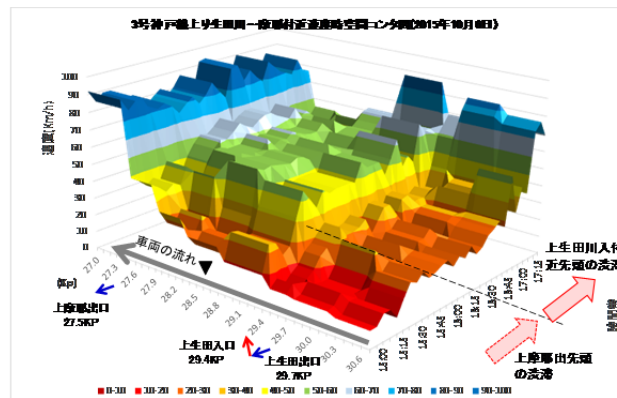


図-1 3号神戸線上り生田川入口先頭渋滞の顕在化事例

滞対策の検討では、処理能力に影響を与える要因を抽出し、渋滞発生メカニズムを時系列・空間に着目して把握したうえで、当該ボトルネックへの対策後に現在、潜在しているボトルネックが新たなボトルネック箇所として顕在化することのないよう、留意して対策を検討することが必要であり、それには顕在化しているものだけでなく潜在しているボトルネックの処理能力の把握が求められる。しかしながら潜在しているボトルネックの処理能力を把握することは容易ではない^{3,4)}。

そこで本稿では、車両検知器データに基づく交通状態と、道路線形や構造、その他交通状況に影響を与えると

思われる要因との関係を分析し、顕在化・潜在化するボトルネック処理能力を設定する手法について検討した結果を示す。また、その手法を用いて既存の路線の交通容量を試算した結果をふまえ、本手法の活用方法についても整理する。

2. 対象データとボトルネックの抽出

(1) 対象データ

本稿で用いるデータは平成 26, 27 年度の 2 年間の阪神高速道路車両検知器データを用いる。また、任意の地点でのボトルネック処理能力の試算にあたっては、阪神高速道路の構造データ、気象庁の気象データを合わせて用いている。なお、本稿では分析対象は交通集中渋滞に限定し、障害渋滞は対象外としている。

(2) ボトルネックの抽出

ボトルネックとは、その地点の交通通過処理能力（交通容量）を超える交通需要が流入した際に、交通渋滞が発生する地点のことを言い、渋滞が発生した区間の先頭（最下流側）地点を称する。本稿では、図-2 に示すとおり、高速道路上のある検知器（検知器 A）に渋滞（本稿では 40km/h 以下の速度が 15 分以上継続している状態と定義）が検知され、その下流側検知器（検知器 B）には渋滞が検知されなかった場合、検知器 A と B の間にはボトルネックが存在すると判別し、検知器 AB 間をボトルネック区間とする。

(3) ボトルネック区間の交通量

阪神高速道路では、流出入が無い区間の交通量を計測

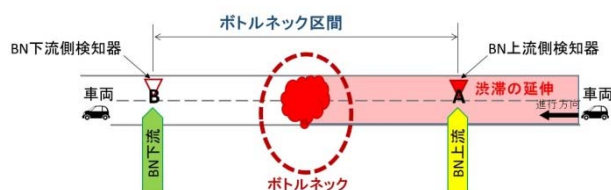


図-2 ボトルネック区間の抽出

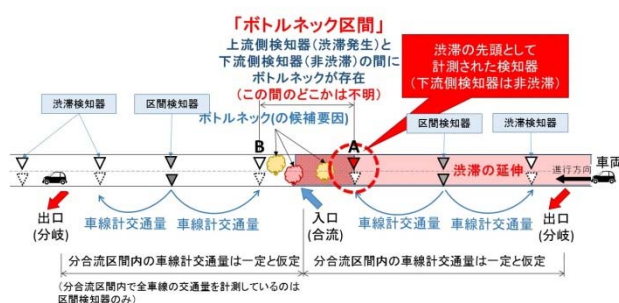


図-3 ボトルネック区間の交通量

するため、1 区間に概ね 1 箇所、走行・追越両車線に車両検知器が設置されてある断面（区間検知器設置断面）が存在する（図-3）。その他の断面（渋滞検知器設置断面）では概ね 500m ピッチで追越車線側のみに渋滞を検知するための検知器が設置されており、走行車線の交通量を把握することは出来ない（図-3）。そこで本稿では、詳細にボトルネック区間の交通量を把握するために、同一区間内の車線計交通量は一定であると仮定し、区間検知器から観測された車線単位の交通量を用いて渋滞検知器地点の車線単位交通量を補完する（図-3）。

すなわち、図-3 のボトルネック区間の観測交通量は、検知器 B が属する区間の区間検知器（図-3）では、検知器 B の 1 つ下流側にある検知器から補完された検知器 B の交通量データを用いて算出されることになる。

しかしながら、ボトルネックとなる要因は様々であり、ボトルネックごとに最大交通流率が観測される地点は異なる可能性がある。次節で本稿で対象とするボトルネックについて列挙する。

(4) 対象ボトルネック

本稿では下記のボトルネックを分析対象とした。

a) 単路部区間内のボトルネック（図-4）

単路部区間内のボトルネックであり、要因としてはサグ、トンネル、カーブの他、車線減少、幅員縮小、視距の変化などが考えられる。

b) 入口・本線合流のボトルネック（図-5）

入口・本線合流のボトルネックで入口、または本線からの合流車両の影響（避走、合流、車線移行等）などが要因として考えられる。

その他にも、出口ボトルネック（出口待ち行列が本線に延伸）や、本線料金所ボトルネック（本線料金所ブース処理能力が原因）が考えられるが、出口ボトルネックは出口信号現示の問題による所も大きく、交通容量推定が困難なため、本稿では対象外とした。また、本線料金

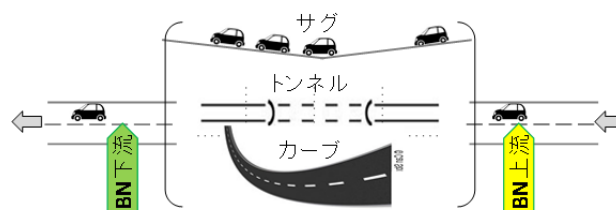


図-4 単路部区間内のボトルネック

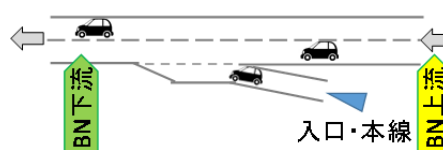


図-5 入口・本線合流のボトルネック

所ボトルネックについても ETC の普及により、本線料金所による渋滞が現在では大きな問題とはなっていないことから本稿では対象外とした。そのため、本稿においては常に下流側の交通量データを用いて観測交通量を算出することとする。

3. 交通容量モデルの構築

本章では、ボトルネックにおいて観測交通量を算出し、観測交通量と道路交通影響要因を用いて交通容量を推定する。なお、本稿で言う「観測交通容量」とは「渋滞発生時交通量」のことを言う。「渋滞発生時交通量」は5分間平均速度が40km/h以下に低下した最初の5分間を除いたその直前15分間のフローレートである。

(1) 道路交通環境要因と観測交通容量の関係

本節では道路環境要因と渋滞発生時交通量との関係について分析を行った一例を示す。交通容量が時間帯・曜日・気象・構造要因等に大きく影響を受けることについては予てから多くの研究がなされてきている³⁵⁾。

本稿では一例として降水量による渋滞発生時交通量と速度への影響について分析した結果を示す。図-6、7は、阪神高速11号池田線上路と13号東大阪線下りのある地点における降水量ごとの渋滞発生時交通量と速度の関係散布図で表したものである。この図では、赤点（降水

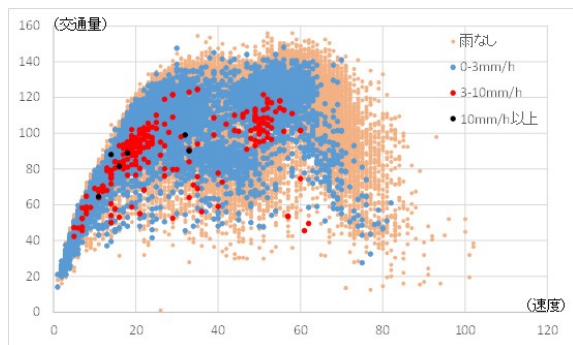


図-6 降水量と渋滞発生時交通量と速度の関係（池田線上路）

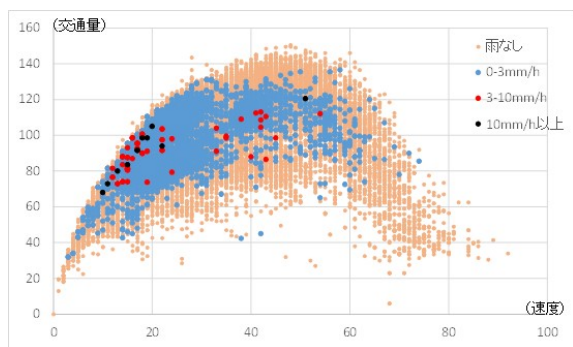


図-7 降水量と渋滞発生時交通量と速度の関係（東大阪線下り）

量：3-10mm）と黒点（10mm以上）のプロットは他の色と比べると交通量も低いが、速度が特に低いことが見て取れる。そのため、交通容量の動的要因として挙げられる降水量は渋滞発生に大きく影響を及ぼしていると考えられる。

(2) 交通容量推定モデルの構築

本節では、交通容量が推定可能なモデル構築を行った結果を示す。推定モデルは以下の式(1)のような重回帰モデルを用いた。

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (1)$$

Y : 交通容量 x : 説明変数 β : 係数

従属変数は渋滞発生時交通量とする。説明変数は表-1に示すとおりであり、動的要因として時間帯・曜日・降雨・合流交通、静的要因としては道路構造及び車線データ、国幹道ダミーを挙げた。

国幹道ダミーは神戸線下り（名神接続）、池田線上路（名神接続）、東大阪線上路（近畿道接続）の3路線にのみ適用される。これは本線交通量に近い合流が存在す

表-1 交通量推定モデルに用いられる説明変数

要因	項目	単位・区分
動的要因	週末	0:該当なし, 1:該当
	日祝日	0:該当なし, 1:該当
	6:00-10:00	0:該当なし, 1:該当
	10:00-13:00	0:該当なし, 1:該当
	13:00-17:00	0:該当なし, 1:該当
	降水量	mm/h
	降水ランク	0:雨なし 1:0≦<3mm/h 2:3≦<10 3:10≦<20 4:20≦<30 5:30mm/h以上
	降水継続時間	分
	雨有無	0:雨なし, 1:雨あり
	入口・従流交通量	台/5分
	合流比率	従流交通量/(従流+主流交通量)
静的要因	幅員	m
	サグ	0:該当なし, 1:該当
	クレスト	0:該当なし, 1:該当
	要素長: 右円弧	m
	要素長: 左円弧	m
	要素長: 右緩和曲線	m
	要素長: 左緩和曲線	m
	要素長ランク	1:50m以下 2:50≦≦100 3:100≦≦150 4:150≦≦200 5:200m以上
	max要素長	m
	曲線半径: 右円弧	km
	曲線半径: 左円弧	km
	曲線半径: 右緩和曲線	km
	曲線半径: 左緩和曲線	km
	min曲線半径	km
	曲線半径逆数	1/曲線半径
	曲線ランク	1:200m未満 2:200≦≦400 3:400≦≦600 4:600≦≦800 5:800≦≦1000 6:1000m以上
	縦断上り勾配	%
	縦断下り勾配	%
	勾配の差	absolute(上り勾配-下り勾配)
	上り勾配ランク	0:0% 1:0≦≦2 2:2≦≦4 3:4≦≦6 4:6%以上
	下り勾配ランク	0:0% 1:-2≦≦0 2:-4≦≦-2 3:-6≦≦-4 4:-6%以下
	上り勾配累積延長	km
	合流	0:該当なし, 1:合流区間
	分岐	0:該当なし, 1:分岐区間
	黄線区間	0:該当なし, 1:分岐区間
	黄線区間長	m
	要素長ランク×上り勾配ランク	
	要素長ランク×下り勾配ランク	
	曲線半径逆数×上り勾配	
	曲線半径逆数×下り勾配	
	国幹道ダミー	0:該当なし, 1:該当

表-2 11号池田線上路りモデル

モデル要約	R	R2 乗	調整済み R2 乗	推定値の標準誤差		
	.362a	0.131	0.131	16.837		
説明変数	標準化されていない係数			標準化係数	t 値	有意確率
	B	標準誤差	ベータ			
	(定数)	121.705	0.091		1341.521	0.000
降水ランク	-3.591	0.14	-0.077		-25.693	0.000
上り勾配累積延長	-7.854	0.129	-0.193		-60.984	0.000
黄線区間	4.703	0.18	0.106		26.123	0.000
日祝日	-11.13	0.3	-0.111		-37.073	0.000
時間6_10	8.786	0.144	0.184		60.866	0.000
勾配の差	-1.639	0.028	-0.223		-57.872	0.000
国幹道ダミー	-20.502	0.341	-0.192		-60.158	0.000

るため、通常の合流とは区別して説明変数とした。なお、モデルは路線系統別モデルに加えて、いくつかの路線系統を地区別にまとめた地区別モデルも構築した。本稿では路線別モデルの例として阪神高速 11 号池田線上路りモデルと 13 号東大阪線上路りモデルの推定結果を示す。

a) 11号池田線上路りモデル

推定結果を表-2 に示す。調整済み R 二乗値はモデルの適合度を示すが、0.131 と決して適合度が高いとは言えない。ただし、有意となっている要因の正負の符号は実態と合致しており、一定の説明力はあると思われる。説明変数について、動的要因である降水ランク、曜日、時間帯が 1%有意になっており、静的要因では上り勾配累積延長、黄線区間、勾配の差、国幹道ダミーが 1%有意となっている。

国幹道ダミーが有意となっているのは、豊中南で名神と接続されており、その区間は渋滞先頭ポイントとなることが多いためと推察される。

黄色区間については交通容量に正の効果を及ぼしているが、路線によっては負方向に作用しているモデルもあり、必ずしも交通容量を増加させる要因とはなっておらず、詳細な分析が今後必要であろう。

勾配の差は標準化係数も見て比較的影響が大きく、路線として全体的に勾配差の大きくない池田線上路りの中で、JR 高架下をくぐる区間（5.5～6.5kp）ではアップダウンが激しく（図-8）、その区間の観測交通容量の低さが影響していると推察される。

b) 13号東大阪線上路りモデル

推定結果を表-3 に示す。前述した 11 号池田線上路りモデルと同様にモデルの適合度は高くない。本検討では説明変数の相互作用まで考慮しきれていないため、適合度が低いと考えられ、モデル適合度の向上は今後の課題であろう。説明変数について、動的要因である降水ランク、曜日、時間帯が 1%有意になっており、静的要因では上り勾配累積延長、下り勾配ランク、合流が 1%有意となっている。

上り勾配累積延長が交通容量に負の効果をもたらしていることは容易に想像できる。合流が負の効果をもたらしているのは阪神高速道路の主要渋滞ポイントとなって

表-3 13号東大阪線上路りモデル

モデル要約	R	R2 乗	調整済み R2 乗	推定値の標準誤差		
	.376 ^a	0.142	0.142	12.871		
説明変数	標準化されていない係数			標準化係数	t 値	有意確率
	B	標準誤差	ベータ			
	(定数)	129.819	0.123		1056.016	0.000
降水ランク	-7.773	0.295	-0.068		-26.361	0.000
下り勾配ランク	-4.194	0.076	-0.144		-55.393	0.000
上り勾配累積延長	-22.082	0.206	-0.321		-107.348	0.000
週末	-3.315	0.143	-0.06		-23.101	0.000
日祝日	-10.976	0.238	-0.119		-46.064	0.000
時間6_10	3.021	0.073	0.108		41.164	0.000
合流	-8.842	0.129	-0.204		-68.629	0.000

いる高井田入口先頭の渋滞が影響していると推察される。

下り勾配ランクが影響度は低いものの、負方向に作用している要因は環状線から延伸してくる渋滞と相まって、環状線直近の法円坂入口周辺の下り坂まで渋滞が延伸することが多く、その影響が可能性として考えられる。

これらの構築したモデルを用いて次章では交通容量を推定した結果を示す。

4. 交通容量推定結果

本章では、前章で構築した交通容量推定モデルを用いて阪神高速 11 号池田線上路り区間について交通容量（ここでの交通容量は「渋滞発生時交通量」を指す。）を試算した結果について示す（図-8）。空白になっている区間は、2 年間で渋滞の先頭となった回数が 48 回以下の区間である。

阪神高速の主要渋滞ポイントとなっている塚本先頭渋滞の先頭付近にある塚本入口までの本線は上流側に連続でカーブがあり、その後に入りが続く。推定交通容量が大きい区間は加島合流部で、晴れ・平日・6-10 時台で 130 台/時/車線を上回っている。5.5～6.5kp 間は勾配もしくはカーブなどの影響で推定交通容量が低くなっている。この結果から、塚本合流部付近の交通容量増加策を行った場合、現状では潜在している 5.5～6.5kp 付近先頭の渋滞が出現する可能性がある。

一方、最も推定交通容量が低い区間は、豊中南合流部付近である。この区間には名神からの合流交通量と一般街路からの流入交通量が多いという動的要因や合流部区間に長い上り勾配が続くという複合的な静的要因などが影響して、本線上の交通容量が低くなっていると思われる。以上のことから、11 号池田線上路りの主要渋滞ポイントである塚本合流部では、捌け交通容量が他と比較して低いわけではなく、塚本まで入口が連続しており、流入交通量も多く、本線交通量も多いため、先頭地点となっている可能性が高い。加えて、塚本合流部への対策にあたっては 5.5～6.5kp 付近の交通状況も考慮に入れる必要があると言える。

池田線上り

進行方向

進行方向

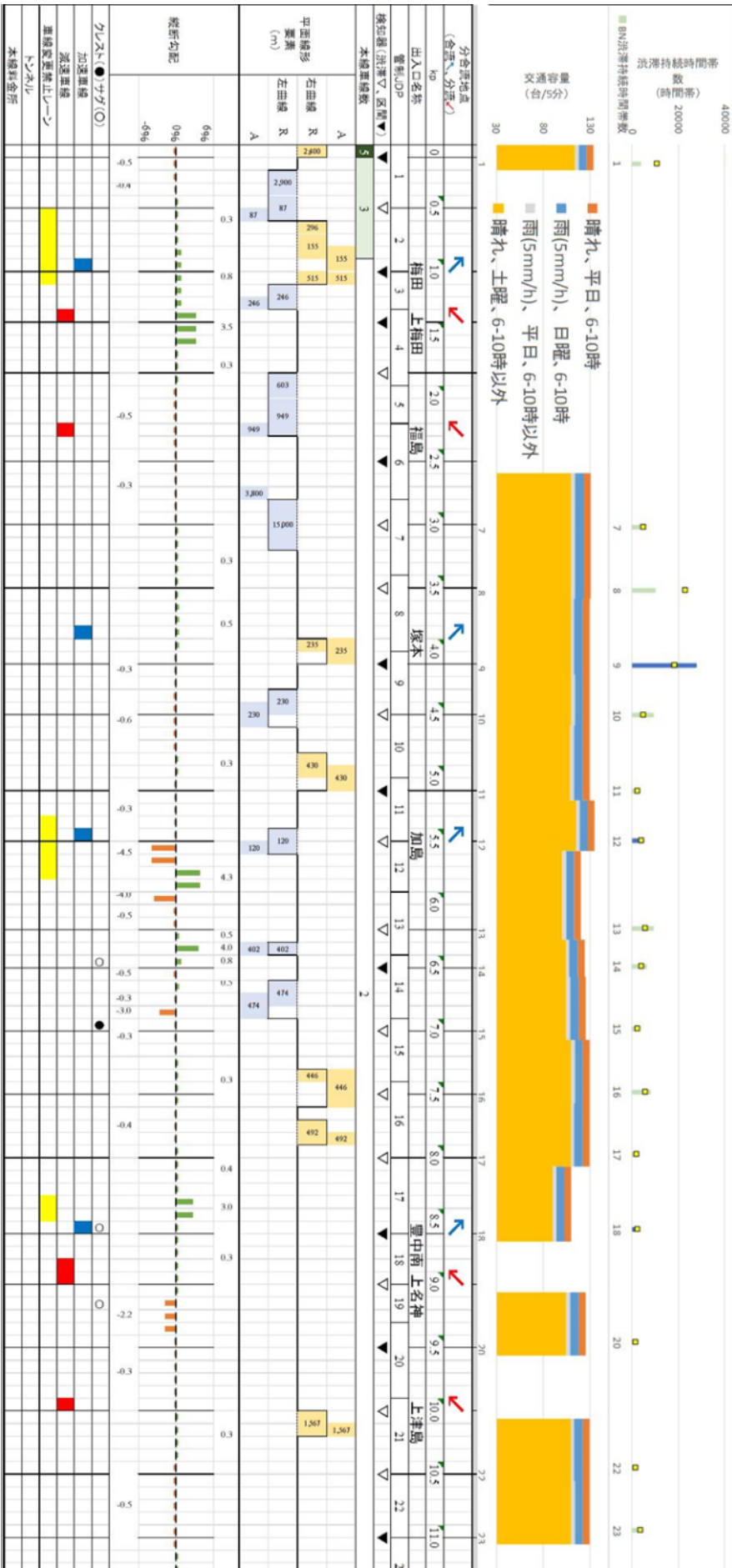


図-8 11号池田線上下交通容量推定結果

5. まとめ

本稿では、道路構造や交通環境に着目し、交通容量に影響を与える要因について分析するとともに、渋滞先頭となったことのある任意の地点における交通容量を推定するモデルを構築した。これにより、潜在化しているボトルネック箇所の抽出を行うとともに、今後の渋滞対策に有用な知見を加えることが可能となった。

また、本稿で構築した交通容量推定モデルは同地区・同交通特性の路線モデルを用いることで、道路構造データしかない新規計画路線への適用も可能であると考え、建設前に事前に交通容量を把握し、一定の評価を行うことも可能であるとする。また、交通シミュレーションモデルの精緻化にも寄与し、様々な場面での活用が考えられる。

しかしながら課題もある。3章でも述べたが、本検討では要因の相互作用まで考慮しきれていないため、モデルの適合度が低いことが課題であり、今後、説明変数の見直し等を順次進めていく必要がある。また、本検討での交通状況は、約 500m 毎に配置された車両検知器データから得られたデータであり、ボトルネックも「車両検知器区間」という範囲でのみ特定が可能である。そのため、車両検知器区間に複数のボトルネック要因が存在する可能性がある場合には、プローブ情報や画像情報などを活用したより詳細な分析が必要である。

加えて、本検討では構造要因として運転者の感覚的な効果は考慮できておらず、例えば情報板の有無による速

度低下、高遮音壁などによる圧迫感といった要因も交通容量に影響を及ぼしている可能性があるため、これらの要因も考慮したうえで今後も引き続き検討を進めていきたい。

謝辞：本検討を行うにあたり、京都大学 宇野伸宏教授には多数の貴重なご意見を頂きました。ここに付記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 村重至康, 野中康弘, 柳沼秀樹：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, 土木計画学研究・講演集, Vol.40, 4pages, 2009.
- 2) 船岡直樹, 割田博, 桑原雅夫, 佐藤光, 岡田知朗：首都高速道路におけるボトルネック判定手法構築に関する一考察, 土木計画学研究・講演集, Vol.36, 4pages, 2007.
- 3) 村重至康, 山口孝, 野中康弘：都市間高速道路単路部を対象とした交通容量推定モデルの構築, 土木計画学研究・講演集, Vol.42, 4pages, 2010.
- 4) 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, pp48-58, 2008.
- 5) 米川英雄, 森康男, 飯田克弘：高速道路単路部における交通容量影響要因の基礎的研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.17, pp.915-926, 2000.

(2017.4.??受付)

UNDERSTANDING THE CONGESTION OCCURRENCE AND TENDENCY USING TRAFFIC DETECTOR AND ROAD STRUCTURE DATA, FOR APPLYING TO EVALUATION AND ESTIMATION OF EXPRESSWAY

Akito HIGATANI, Takashi KODAMA, Hiroyuki MASUMOTO, Toshihiko KITAZAWA, Jinyoung KIM and Takehiko DAITO

To inquire into the cause of the bottleneck in urban expressway is difficult because of a complicated interaction with dynamic and static factors, including the expressway structure and the traffic environment. And capacities of each bottleneck can be different due to the factors. Moreover, it is hard to grasp the existence and influence of latent bottlenecks.

In this paper, we estimate the traffic capacity at all bottlenecks using traffic detector and road structure data. And we find out the latent bottleneck points from the results of trail calculation in Hanshin Expressway.