

ETC2.0プローブ情報を用いたボトルネック 交通容量の推定手法の検討

牧 佑奈¹・後藤 梓²・大嶋 一範³・池田 裕二⁴

¹非会員 国土技術政策総合研究所 高度道路交通システム研究室 (〒305-0804 つくば市旭1番地)
E-mail: maki-y92vy@mlit.go.jp

²正会員 国土技術政策総合研究所 高度道路交通システム研究室 (同上)
E-mail: goto-a92uj@mlit.go.jp

³正会員 国土技術政策総合研究所 高度道路交通システム研究室 (同上)
E-mail: ooshima-k82ac@mlit.go.jp

⁴正会員 国土技術政策総合研究所 高度道路交通システム研究室 (同上)
E-mail: ikeda-y87uw@mlit.go.jp

高速道路上におけるボトルネックは、渋滞を引き起こすことで、道路ネットワーク整備の進んだ現在でも大きな課題となっており、この対策を行うには交通容量を把握することが重要である。そこで本稿は、首都圏高速道路ネットワークにおけるボトルネックの交通容量を、車両感知器情報により把握するとともに、ボトルネックの速度低下量や急挙動発生頻度等の運転挙動パラメータをETC2.0プローブ情報から抽出した。そして、交通容量を目的変数とし、運転挙動パラメータ等を説明変数として表現する重回帰モデルを構築した。その結果、ボトルネック周辺では、非渋滞時であっても他の区間と比べて減速や急挙動が発生しやすい傾向にあり、それが交通容量と関係がある可能性が示された。

Key Words : ETC2.0 probe data, bottleneck, capacity, expressway

1. はじめに

高速道路上には、サグ部や分合流部に代表されるような局所的に交通容量が低い箇所、すなわち「ボトルネック」が存在する。ボトルネックは、渋滞を引き起こし、交通の円滑性を大きく低下させるため、道路ネットワーク整備の進んだ現在でも大きな課題となっている。国土交通省¹⁾は、既存道路の運用改善等により道路ネットワーク全体の機能を最大限に発揮させる「賢く使う」取組の一環として、ビッグデータを活用しつつ科学的な分析に基づいてボトルネック位置とその要因を把握した上で、適切な対策を講じることが重要であるとしている。

国土技術政策総合研究所²⁾は、ビッグデータの1つであるETC2.0プローブ情報を活用したボトルネックの分析を行っており、プローブの速度情報がボトルネック位置の特定に有用であることを示している。一方、ボトルネックに対して、代替経路へ交通需要を分散させるような運用施策を検討するためには、ボトルネック区間はもとより、分散させた交通が流れる代替経路の道路区間が捌くことのできる交通能力である「交通容量」を把握しておくことが不可欠である。

既往の研究⁴⁾などにおいて、交通容量は確率的に変動するものと捉えられており、ボトルネック付近に設置された車両感知器により計測される交通量及び速度情報を用いて、渋滞発生確率を推定する手法が確立されてきた。しかしながら、推定される渋滞発生確率の信頼性を確保するためには、渋滞発生時の交通量に関する十分なデータが必要である。このため、現在は渋滞していないものの、今後想定される交通需要分散施策などによって将来的に交通量が増加し渋滞する可能性のある箇所（潜在的なボトルネック）の渋滞発生確率は把握ができない。

このため、既往研究⁶⁾などでは、幾何構造パラメータ等により交通容量や渋滞発生確率を推定する手法の検討も行われている。これは、幾何構造がドライバーの運転挙動に何らかの影響を与え（例えば、速度低下や急な車線変更など）、その結果として交通容量が決定することを表現しているといえる。一方、現在では、ETC2.0車載器の普及により、ドライバーの運転挙動（速度の変動や急挙動の発生状況）が常時観測可能となりつつある。ボトルネック周辺においては、非渋滞時でもドライバーの運転挙動に何らかの影響が生じていると仮定すると、プローブにより観測される運転挙動から交通容量と関係の

あるパラメータを抽出できる可能性がある。このような運転挙動パラメータが抽出できれば、これを幾何構造パラメータと併せて考慮することで交通容量の推定精度を向上できる可能性や、幾何構造要因が複雑に作用し幾何構造パラメータが直接的に説明変数とならないボトルネックの交通容量を推定できる可能性があると期待される。

そこで、本研究では、ETC2.0プローブ情報から抽出可能な速度低下量や急挙動の発生頻度等の運転挙動パラメータを用いて交通容量を推定する手法の検討を行う。

2. 分析方法

(1) 分析の流れ

本研究の分析の流れを図-1に示す。本研究では、現在渋滞が顕在化しているボトルネックを対象として、交通容量の推定(4章)及び運転挙動パラメータの抽出(5章)を行い、前者を目的変数、後者を説明変数としたモデルを構築する。交通容量の推定は、既往研究に倣い車両感知器情報から渋滞発生確率を求めることにより行い⁴⁾、運転挙動パラメータは、ETC2.0プローブ情報から非渋滞時でも取得可能なものを抽出する。この対象となるボトルネックは、車両感知器情報から推定する交通容量の精度を確保する目的から、ETC2.0プローブ情報により把握可能なボトルネック位置と車両感知器の設置位置が大きく離れていない箇所を選定するものとする(3章)。最後に、このモデルを現在は渋滞が発生していない潜在的ボトルネックに適用して交通容量の試算を行う(6章)。

(2) ETC2.0 プローブ情報

ETC2.0プローブ情報とは、ETC2.0車載器に記録された走行位置や急挙動位置に関する情報であり、車載器と車両に関する基本情報及びa)走行履歴とb)挙動履歴によって構成される。これらの情報は、ETC2.0車載器を搭載した車両が高速道路や直轄国道に設置された路側機を通過する際に収集される。

a) 走行履歴

時刻、位置(緯度・経度)等の情報で、車両が200m走行する毎及び進行方向を45度以上変化する毎に記録される。最大約80km分の情報が車載器に蓄積可能である。

b) 挙動履歴

時刻、位置(緯度・経度)、前後加速度、左右加速度、ヨー角速度等の情報で、車両の前後加速度、左右加速度またはヨー角速度が閾値を超えたときに記録される。閾値は、前後加速度が $-0.25G$ 、左右加速度が $\pm 0.25G$ または、ヨー角速度が $\pm 8.5\text{deg/s}$ である。最大31地点分の情報が車載器に蓄積可能である。

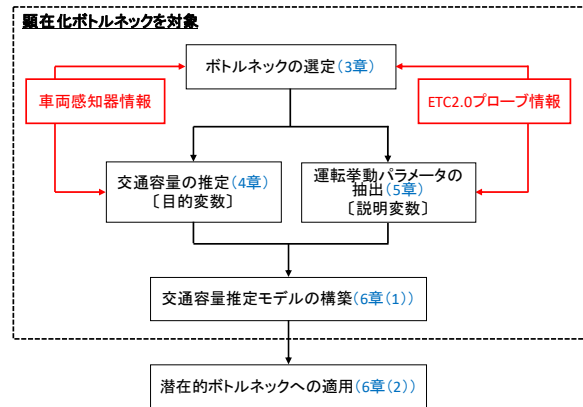


図-1 分析のフローチャート

(3) 車両感知器情報

本研究で用いる車両感知器情報には、5分間集計の交通量及び平均速度が記録されている。今回は、車線別の分析は行わず、断面合計の5分間交通量を1時間あたり・1車線あたりに換算した交通流率[pcu/h/lane]と、断面平均速度[km/h]を用いる。大型車は、「道路の交通容量」⁸⁾を参考に換算係数2.0として乗用車換算する。

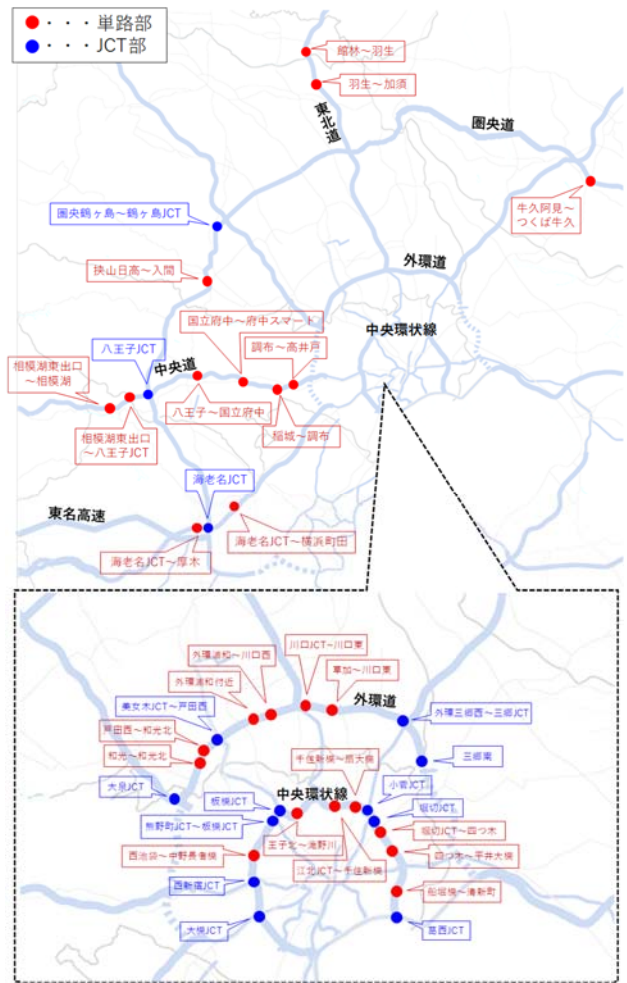
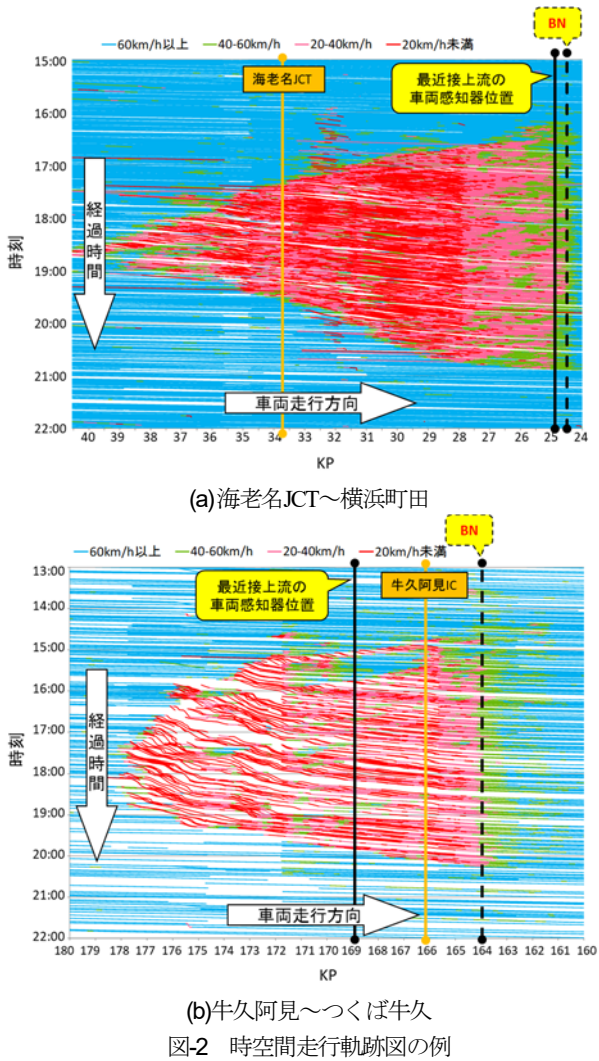
(4) 対象道路及びデータ取得対象期間

対象道路は、首都圏高速道路ネットワークにおける首都高速中央環状線(中央環状;大井JCT~葛西JCT, 45.7km)、東京外環自動車道(外環;大泉JCT~三郷南IC, 33.5km)、首都圏中央連絡自動車道(圏央道;茅ヶ崎JCT~木更津JCT, 264.3km)、東名高速道路(東名道;起点~御殿場IC, 83.6km)、中央自動車道(中央道;起点~上野原IC, 50.3km)、東北自動車道(東北道;川口JCT~館林IC, 45.952km)とする。但し、2017年7月時点で未開通の区間は除く。

交通容量の推定を行うための車両感知器情報は、2015年8月~2017年7月の2年間分、運転挙動パラメータの抽出等を行うためのETC2.0プローブ情報は、2016年10月(圏央道は2017年3月)の1ヶ月間分のデータを使用する。

3. ボトルネックの選定

今回対象とするボトルネックは、単路部におけるサグ、上り坂、IC合流部等及びJCT分合流部とし、本線料金所は含まないものとする。これらに該当しかつ交通集中渋滞が頻発している箇所の中から、車両感知器とボトルネック(渋滞の先頭)が極力近い位置にある等の、4章で交通容量の推定を行うのに適切な箇所を顕在化ボトルネックとして選定する。但し、上流から延伸している渋滞は含まないものとする。



ボトルネックの位置を把握するために、ETC2.0プローブ情報を用いて時空間走行軌跡図を作成した。時空間走行軌跡図は、走行履歴の点を結んだ線を速度で色分けした図であり、これにより速度の減少地点が視覚的に把握できる。図-2(a)をみると、車両軌跡が緑色 (60-40km/h) に変化する24.5kp付近で速度低下が始まっており、ここがボトルネックの位置と特定できる。車両感知器とボトルネックの距離に着目すると、図-2(a)は近接しているが、図-2(b)はやや離れている。このような結果を基に、ボトルネックと車両感知器が極端に離れている箇所を今回の分析対象から除外した。また、4.(1)で行う渋滞の判定によって、2年間の渋滞発生件数が20未満の箇所も除外した。

以上の結果、単路部30箇所、JCT部17箇所の合計47箇所が選定された。ここで、サグ、上り坂、IC合流部等の単路部において渋滞が発生しているボトルネックを単路部、JCTの分合流により渋滞が発生しているボトルネックをJCT部としている。これらのボトルネックの位置を図-3に示す。

4. 交通容量の推定

本章では、前章で選定した47箇所のボトルネックそれぞれについて、ETC2.0プローブ情報により把握されたボトルネック位置の直近上流の車両感知器情報を用いて、交通量と渋滞発生確率の関係を表す渋滞発生確率曲線の推定を行い、推定された渋滞発生確率曲線を基に交通容量を取得する。また、参考として、渋滞発生後の捌け交通量についても抽出を行い、交通容量との関係について考察する。

なお、今回は交通集中による渋滞のみを対象とするため、対象ボトルネック周辺において交通事故や故障車等による渋滞が発生した前後の時間帯はデータから除外した。また、日照や天候による交通容量の変動を無視するため、晴天・昼間のみのデータを対象とした。

(1) 渋滞発生時交通量の抽出

渋滞発生確率曲線の推定には、渋滞発生のきっかけとなった交通量 (以下、渋滞発生時交通量) 及び渋滞して

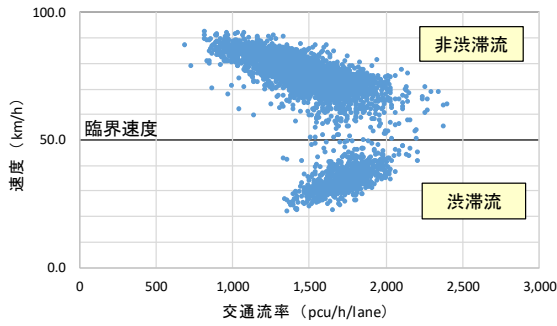


図4 Q-V 関係図の例 (戸田西～和光北)

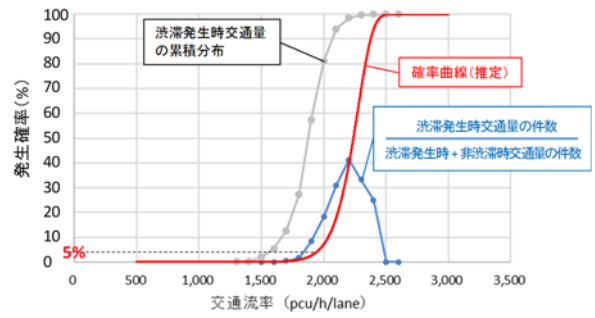


図6 発生確率図の例 (戸田西～和光北)

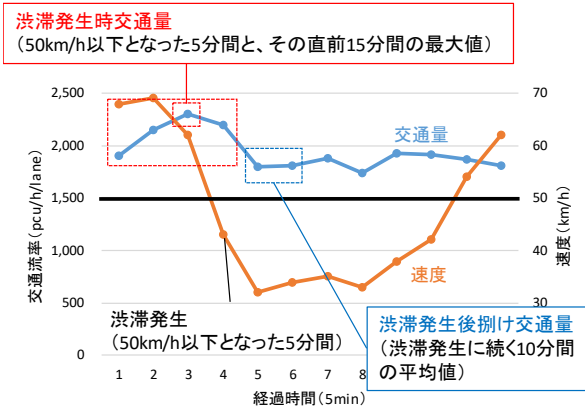


図5 渋滞発生時交通量の抽出例

いないときの交通量 (以下, 非渋滞時交通量) が必要である。これらの交通量を車両感知器情報から抽出する。

渋滞発生時交通量は、渋滞が発生した5分間あるいはその直前に発現していると考えられる。今回、渋滞発生の判定は、平均速度が臨界速度を15分間以上下回ったことにより行った。石田・Xing⁹⁾などが指摘する通り、臨界速度はボトルネック毎に異なるため、個別に設定することが厳密であるが、今回は、多数のボトルネックを処理する便宜上、図-4のようなQ-V図を確認したうえで、殆どのボトルネックで適切に渋滞流と非渋滞流を区別できると考えられる50km/hに一律で設定した。

渋滞発生時交通量は、図-5に例示するように渋滞が発生し(平均速度が50km/hを下回り始め)た5分間とその直前15分間の最大値とした。一方、非渋滞時交通量は、渋滞発生時交通量及び渋滞中(平均速度が50km/h以下)の交通量を除いた時間帯の交通量とした。なお、図-5に併せて記載しているように、渋滞発生に続く10分間の交通流率の平均値を渋滞発生後捌け交通量として抽出した。

(2) 渋滞発生確率曲線の推定

既往研究に倣い、渋滞発生確率が式(1)のワイブル分布に従うと仮定し、4.(1)で抽出した渋滞発生時交通量及び非渋滞時交通量を用いて、最尤推定法により形状パラ

メータ α 及び尺度パラメータ β の推定を行った。最尤推定法では、式(2)の対数である対数尤度関数 $\ln L$ を最大化するように交通容量分布のパラメータを推定する。

$$F(q) = 1 - e^{-\left(\frac{q}{\beta}\right)^\alpha} \quad (1)$$

ここに、 α : 形状パラメータ、 β : 尺度パラメータである。

$$L = \prod_{i=1}^n f(q_i)^{\delta_i} \cdot [1 - F(q_i)]^{1-\delta_i} \quad (2)$$

ここに、 $f(q)$: 確率密度分布関数、 $F(q)$: 累積確率分布関数、 n : サンプル数、 q_i : 時間 i における交通量、 δ_i : 渋滞時交通量の場合に1、非渋滞時交通量の場合に0となるダミー変数である。

これにより渋滞発生確率曲線を推定した例を図-6に示す。図-6には、推定された渋滞発生確率曲線(赤線)に加えて、渋滞発生時交通量の累積分布(灰色線)と、渋滞発生時・非渋滞時交通量による各交通量レベルでの件数の割合(青線)も示している。渋滞発生時交通量だけをみると灰色線の範囲で分布しているが、実際には同等の交通量でも渋滞していない場合があるため、渋滞が発生した割合は青線ようになる。このような非渋滞交通量の発生件数も考慮したうえで、観測することが困難な交通量レベルまで含めて渋滞発生確率を推定したものが、赤の曲線である。

(3) 交通容量の推定

前節4.(2)で得られた渋滞発生確率曲線は、交通容量の分布を表す曲線⁹⁾ともいえ、小林ら⁷⁾のようにこの曲線そのものを説明変数によりモデル化する試みもみられるが、今回は簡略化のため、渋滞発生確率曲線から得られる一意の値を交通容量とみなし、モデルの目的変数とする。

岡村ら¹⁰⁾は、「渋滞発生確率がいくらの場合を交通容量とすべきか明確な根拠を示すことはできない」としながらも、渋滞発生確率1%、5%、15%に相当する交通量と、渋滞発生時交通量や渋滞発生後の捌け交通量、実現する

表-1 各ボトルネックの交通容量

路線	方向	IC間	KP (BN 位置)	渋滞 発生 件数	渋滞発生確率			渋滞発生 後捌け 交通量 [pcu/h/ lane]
					α	β	交通容量 (渋滞発生 確率5%値 [pcu/h/ lane])	
【単路部】								
中央 環状	上	千住新橋～扇大橋	33.3	295	21.1	1,898	1,649	1,361
	上	王子北～滝野川	27.3	89	29.6	1,845	1,668	1,547
	上	西池袋～中野長者橋	19.8	94	20.4	2,025	1,751	1,469
	下	江北JCT～千住新橋	32.2	33	16.9	2,829	2,373	1,704
	下	堀切JCT～四つ木	38.1	23	13.2	2,756	2,199	1,388
	下	四つ木～平井大橋	40.2	34	15.5	3,045	2,515	1,684
外環	下	船堀橋～清新町	45.5	74	24.9	2,450	2,174	1,562
	上	戸田西～和光北	6.4	494	19.9	2,279	1,963	1,709
	上	外環浦和付近	13.2	93	20.7	2,370	2,053	1,593
	上	草加～川口東	19.4	296	24.1	2,007	1,774	1,471
	下	川口JCT～川口東	18.5	30	25.6	1,775	1,580	1,256
	下	外環浦和～川口西	13.3	156	23.2	2,346	2,063	1,682
圏央道	下	和光～和光北	4.5	21	19.1	1,632	1,397	1,074
	上	狭山日高～入間	65.7	35	13.9	2,381	1,922	982
東名道	上	牛久阿見～つくば牛久	164.0	47	13.8	1,800	1,452	925
	上	海老名JCT～横浜町田	24.7	249	6.9	3,201	2,086	1,224
	下	横浜町田～海老名JCT1	22.5	140	16.1	2,245	1,867	1,186
	下	横浜町田～海老名JCT2	31.0	31	13.5	2,759	2,212	985
中央 道	下	海老名JCT～厚木	34.8	40	10.2	2,874	2,150	946
	上	相模湖東出口～八王子JCT	39.2	199	15.4	1,953	1,610	1,383
	上	国立府中～府中スマート	15.0	213	23.2	2,063	1,815	1,514
	上	調布～高井戸	3.0	162	11.6	2,743	2,124	1,414
	上	八王子～国立府中	22.4	46	14.3	1,966	1,597	991
	上	稲城～調布	8.8	41	22.7	2,061	1,808	1,257
	下	高井戸～調布	2.2	59	12.8	2,448	1,942	1,083
	下	国立府中～八王子	20.1	81	20.0	1,994	1,718	1,307
	下	八王子JCT～相模湖東出口	38.9	46	18.0	2,101	1,782	1,420
	下	相模湖東出口～相模湖	43.9	77	13.1	2,246	1,790	1,273
東北道	上	羽生～加須	38.2	46	20.0	2,129	1,835	1,407
	上	館林～羽生	44.4	32	20.7	2,160	1,871	1,444
【JCT部】								
中央 環状	上	堀切JCT	37.5	195	16.4	1,925	1,606	1,424
	上	小菅JCT	36.9	179	21.1	2,529	2,197	1,976
	上	板橋JCT	24.8	53	15.8	1,784	1,478	835
	上	西新宿JCT	18.0	169	12.5	2,216	1,746	1,218
	上	大橋JCT	13.5	302	10.3	2,315	1,734	1,167
	下	西新宿JCT	16.5	58	8.6	2,294	1,624	806
外環	下	熊野町JCT～板橋JCT	24.4	182	18.6	1,825	1,556	1,278
	下	葛西JCT	49.7	161	24.4	2,440	2,160	1,411
	上	大泉JCT	0.0	51	10.1	1,893	1,411	779
	上	美女木JCT～戸田西	7.0	38	31.0	2,042	1,856	1,517
	下	三郷南	33.5	591	11.1	1,523	1,167	808
	下	外環三郷西～三郷JCT	28.9	405	17.2	1,570	1,322	1,121
圏央道	下	戸田西～美女木JCT	7.8	295	13.4	2,721	2,180	1,540
	上	八王子JCT	38.1	82	6.2	2,550	1,579	587
	上	海老名JCT	10.5	209	9.5	2,486	1,816	1,100
	下	八王子JCT	38.1	115	11.8	1,853	1,442	885
下	圏央鶴ヶ島～鶴ヶ島JCT	77.5	93	15.0	2,418	1,984	1,160	

最大交通量等を比較して、5%相当を可能交通容量とみなすのが妥当と考察している。本研究でもこれを参考に、(2)で求めたワイブル分布から、渋滞発生確率が5%となる値を交通容量とみなすこととした。渋滞発生確率が5%となる値は、式(2)の逆関数である式(1)に、 $P=0.05$ を代入して解くことにより求めることができる。

$$F^{-1}(P) = \beta \left(\ln \frac{1}{1-P} \right)^{1/\alpha} \quad (3)$$

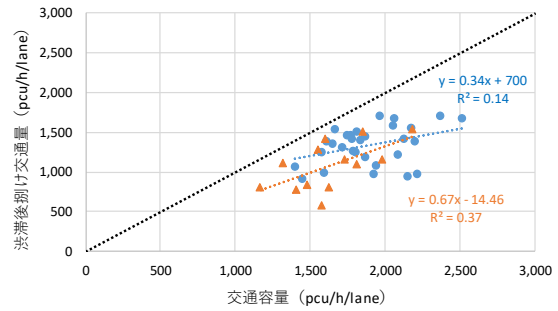


図-7 渋滞発生時交通容量及び渋滞発生後捌け交通量の
 相関 (単路部・JCT部)

以上により、各ボトルネックの交通容量は表-1の通り得られた。

(4) 交通容量と渋滞発生後捌け交通量の関係

前節4.(3)で取得した交通容量と渋滞発生後捌け交通量の関係を図-7に示す。なお、ここでの渋滞発生後捌け交通量は、4.(1)において各ボトルネックの渋滞1件1件について抽出した値の平均値である。

既往研究において、渋滞発生後捌け交通量は、渋滞発生前の交通容量よりも低下することが知られているが、今回も同様の結果が得られている。単路部、JCT部のどちらについても、交通容量と渋滞発生後捌け交通量の相関関係はあまりみられない。これは、交通容量については道路構造による影響が大きいものに対して、渋滞発生後捌け交通量については渋滞中のドライバーの加減速や車線変更といったミクロな挙動によって決まり、車種やドライバーの特性による影響が大きいと考えられることによると推察される。本稿の以降の章では、交通容量のみを取り扱うが、渋滞発生後捌け交通量についても運転挙動パラメータとの関係性について分析することが重要である。

5. 運転挙動パラメータの抽出

本章では、ETC2.0プローブ情報の走行履歴・挙動履歴から、交通容量に影響を及ぼしている可能性のある運転挙動を数値として抽出する。本研究では、この数値化された値を運転挙動パラメータと呼んでいる。

(1) 速度変動及び急挙動発生状況の集計

ETC2.0プローブ情報を用いて、非渋滞時の運転挙動の傾向を把握するため、ボトルネック位置の前後1kmを対象として、1ヶ月間に通過した車両の速度変動や急挙動発生状況について集計を行う。但し、非渋滞流の中でも、車両が他車の影響を受けず自由に走行できる自由流と、

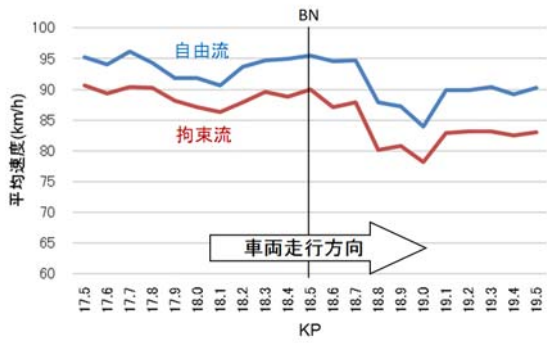


図-8 速度変動の例 (川口 JCT~川口東)

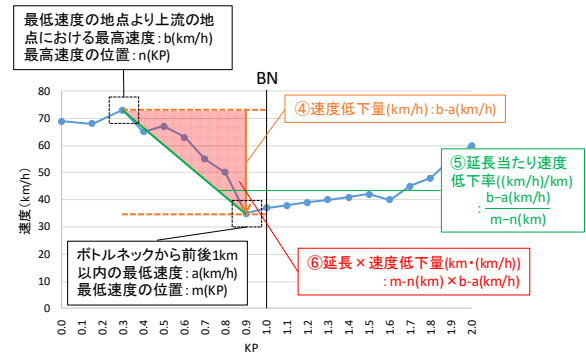


図-10 速度変動に関するパラメータの抽出例 (模式図)



図-9 急挙動発生状況の例 (川口 JCT~川口東)

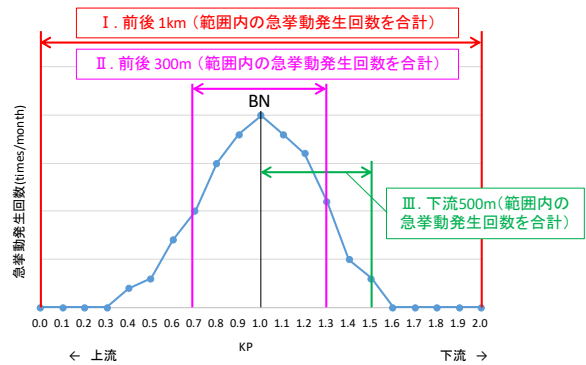


図-11 急挙動発生状況に関するパラメータの抽出例 (模式図)

他車の動きによる制約を受けながら走行する拘束流では傾向が異なる可能性がある。そのため、交通量 600[pcu/h/lane]を境界として、自由流 (<600[pcu/h/lane])と拘束流 (≥600[pcu/h/lane])を分類し、集計を行う。

速度変動(道路延長方向の速度変化)については、約 200m毎に記録された個々の車両の速度を、100m毎に集計することにより平均値を集計する。急挙動発生状況(急ハンドル・急減速)については、以下①~③について、100m毎の発生回数を通過台数で割ることで発生頻度を算出した。

- ①急ハンドル：ヨー角速度が±10deg/s以上または左右加速度が±0.3G以上の回数
- ②急減速：前後加速度が-0.3G以下の回数
- ③急挙動：①と②の合計

速度変動は、単路部及びJCT部共に、図-8に例示するように、ボトルネック位置またはその周辺で速度が低下している箇所が多くみられた。また、この速度低下は、自由流の場合の方が拘束流の場合よりも大きい箇所があった。

急挙動発生状況については、図-9のように、単路部のうち特にサグになっている箇所では、急ハンドルや急減速の発生割合がやや高くなっているようにみられた。これは、大型車などの特定の車両が速度低下した際にその

車両を追い越すための車線変更が起きやすくなっていると予想される。また、JCT部では急ハンドルの発生割合が高くなっている箇所もあった。

しかしながら、すべてのボトルネックに共通して上記のような傾向がみられる訳ではなく、ボトルネック前後で変動が殆ど発生していない箇所もあった。

(2) 運転挙動パラメータの抽出

交通容量を推定するモデルの説明変数の候補とするためには、(1)で把握した速度変動(図-8)や急挙動発生状況(図-9)から、交通容量に影響を及ぼしている可能性のある運転挙動を数値として抽出する必要がある。

非渋滞時でも他区間と比べて大きく速度が低下するような箇所ほど渋滞が起りやすい、すなわち交通容量が低くなっている可能性がある。よって、速度変動については、図-10の模式図に示すように、ボトルネック周辺の速度低下状況を表す④~⑥を抽出した。

- ④速度低下量 (km/h)：ボトルネック前後1km以内の最低速度とその上流の最高速度の差
- ⑤延長当たり速度低下率 ((km/h)/km)：速度低下量を速度が低下するまでの距離で割った値
- ⑥延長×速度低下量 (km・(km/h))：速度低下量と速度

表-2 考慮した変数

幾何構造パラメータ	車線数
	幅員 (車道,中央帯,路肩)
	曲線半径
	合流 (車線長,合流までの距離)
	分流 (車線長,分流までの距離)
	その他 (トンネルの有無,坑口までの距離,車線減少までの距離)
交通特性パラメータ	縦断勾配 (下流300m,下流200m,下流100m,0m地点,上流100m,上流200m,上流300m,前後300mの最大値,前後300mの最小値,下流500mと最大値の差,下流500mと最小値の差,上流500mと最大値の差,上流500mと最小値の差)
	平均大型車混入率,平均合流比,平均分流比

が低下するまでの距離の積

一方、急挙動についても、急減速や急ハンドルが発生しやすい箇所ほど交通容量が低くなっている可能性があるため、ボトルネック周辺での①急ハンドル、②急減速、③急挙動（急減速と急ハンドルの合計）の発生頻度について集計した。ここで、ボトルネック周辺の各地点で発生している急ハンドル・急減速のうち、どこまでがボトルネックが原因のものなのかはデータからはわからない。そのため、図-11の模式図に示すように、I. ボトルネック前後1kmでの発生回数を分母とし、II. 前後300m、または、III. 下流500mでの発生回数を分子とした場合の割合を算出した。

なお、上記のパラメータはそれぞれ5.(1)で分類した自由流・拘束流それぞれの場合について抽出している。

6. 交通容量の推定モデルの構築

(1) モデルのパラメータ推定結果

本研究では、交通容量（4章で取得）が式(4)の線形関数によって表されると仮定した重回帰モデルを構築する。

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \cdots \beta_k x_k \quad (4)$$

ここに、Y: 交通容量, x_i : 説明変数, β_i : x_i の係数 (β_0 は定数項) である。

説明変数 x_i は、5章で抽出した運転挙動パラメータ及び表-2に示す幾何構造パラメータ、交通特性パラメータを候補として、変数間の相関関係が高いものが複数選択されないようしながら、ステップワイズ法（変数増減法）を用いて係数 β_i を推定した。

a) 単路部を対象とした交通容量推定モデル

単路部ボトルネック30箇所を対象としたモデルの推定結果を表-3に示す。表-3の通り、平均大型車混入率、拘束流における延長×速度低下量、自由流における急挙動発生回数の前後300mの前後1kmに対する割合が説明変数

表-3 単路部ボトルネックの交通容量推定モデル

説明変数	係数	t値
切片 (定数項)	2210	11.9
平均大型車混入率	1205	2.4
延長×速度低下量 (拘束流) [km・(km/h)]	-17	-3.2
急挙動発生回数の前後300mの前後1kmに対する割合 (自由流)	-1117	-3.5
自由度調整済み決定係数=0.56		

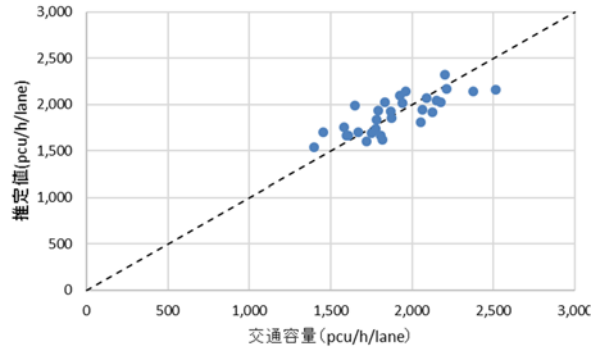


図-12 交通容量の実績値とモデルによる推定値

として選択されている。

平均大型車混入率が高いほど交通容量が高くなる結果となっているが、これは2.(3)で仮定した大型車の乗用車換算係数2.0が実際より大きかったことによると考えられる。そのため、交通容量の説明変数としては他の2つの変数が重要である。拘束流における延長×速度低下量の係数は負であることから、交通がある程度流れている状態で速度低下が生じ、かつ、その速度低下が比較的長い区間で続く箇所は、交通容量が小さい傾向が示されている。また、自由流における急挙動発生回数の前後300mの前後1kmに対する割合の係数が負であることから、交通閑散時においても急減速や急ハンドルが多く発生する箇所は、交通容量が小さい傾向が示されている。

但し、モデルの決定係数は0.56であり十分に高いとは言えない。本モデルを用いた交通容量の推定値を、4章で得た実績値（実績データから推定された渋滞発生確率曲線に基づく値のため厳密にはこれも推定値であるがここでは実績値と呼ぶ）と比較すると、図-12のようになっており、実績値よりも推定値の方がばらつきが小さく、誤差はあるものの、概ね傾向はつかめている。

今回、推定されたモデルでは、勾配等の幾何構造パラメータが有意となっていない。この理由の一つとして、今回対象とした単路部ボトルネックは、殆どがサグまたは上り坂であるが、一部IC分合流部等が混ざっていることが考えられる。幾何構造パラメータの影響を把握するためには、渋滞の発生原因に応じてボトルネックを分類したうえで、それぞれに対して説明変数の検討を行う必

要があると考えられる。しかし、逆の視点から考えられる理由として、今回説明変数として選択された運転挙動パラメータが、幾何構造の影響を内包するものとなっている可能性がある。これを言い換えれば、運転挙動パラメータを用いることによって、幾何構造など本来渋滞原因の異なるボトルネックであっても、共通のモデルで交通容量を推定できる可能性もあるかもしれない。この点については、幾何構造要因と運転挙動（速度低下や急挙動の発生頻度等）の関係についてのより詳細な分析を行ったうえで十分検証する必要がある。

b) JCT 部を対象とした交通容量推定モデル

JCT部ボトルネックについては、有意な変数が得られなかった。今回、JCT部ボトルネックとしてまとめているものの、曲率半径や車線数、分合流までの距離、勾配などの条件が非常に多様であり、急挙動の発生状況にも共通の傾向がみられなかったため、17箇所のサンプルでは説明変数との有意な関係性を見いだせなかったことものと推察される。ボトルネックの対象箇所数を増やすとともに、a)と同様に、幾何構造要因と運転挙動の関係をより細かく分析することで現象を理解した上で、再度検討を行う必要があると考えられる。

(2) モデルの潜在的ボトルネックへの適用

最後に、6.(1)a)で構築した交通容量推定モデル（表-3）を、これまで渋滞が発生していない区間に適用することで、交通容量の推定を試みた。今回、交通容量の推定を試行した区間は、現在は渋滞が発生していないものの、幾何構造上サグまたはIC分合流部などが存在したり、ETC2.0プローブ情報において速度低下（60km/h程度）が観測されたりした区間である。

これらの区間における交通容量を算出した結果を表-4に示す。多くの区間は、現在顕在化しているボトルネックより交通容量が高いが、一部の区間は顕在化ボトルネックと同等あるいは低い区間もある結果となった。これらの区間の交通容量実績値は未知のため検証できないが、参考としてこの区間に顕在化ボトルネックが隣接している川口IC付近、八王子JCT付近について隣接する顕在化ボトルネックと潜在的ボトルネックの交通容量を比較した例を図-13に示す。

その結果、川口IC付近では非渋滞を示す潜在的ボトルネックのほうが顕在化しているボトルネックの交通容量よりも低い値を示している。上流が渋滞しているにもかかわらず、下流が非渋滞であるという結果は予想に反している。(1)で述べたように、モデルの精度には課題があるため、再度検証を行う必要があると考えられる。また、モデルについては、他の路線の顕在化ボトルネック区間にも適用可能か検証する必要がある。

表-4 潜在的ボトルネックの交通容量

渋滞発生箇所				交通容量 (渋滞発生 確率5%値 [pcu/h/lane])
路線	方向	IC間	KP	
外環道	下	川口西～川口中央	14.6	1,889
	上	相模原愛川～圏央厚木	17.0	2,073
圏央道	下	圏央厚木～相模原愛川	16.8	2,005
	下	圏央厚木～相模原愛川	20.6	1,839
東名道	上	秦野中井～厚木	37.1	2,341
	下	東名川崎～横浜青葉	12.6	2,204
中央道	下	八王子～八王子JCT	30.9	1,726
	上	八王子～八王子JCT	32.1	1,862
東北道	下	羽生～館林	42.5	2,059

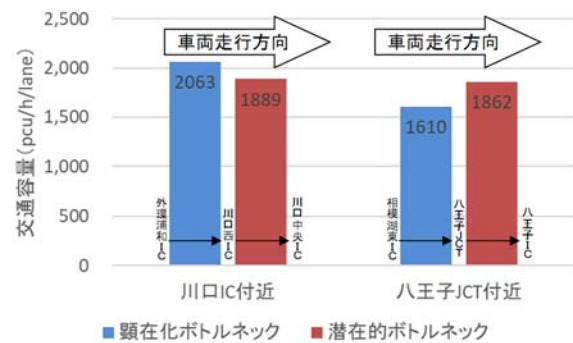


図-13 隣接する顕在化ボトルネックと潜在的ボトルネックの交通容量の比較

7. おわりに

本研究では、首都圏高速道路ネットワークにおけるボトルネック47箇所を対象に、車両感知器情報により把握した交通容量を目的変数として、ETC2.0プローブ情報に基づき抽出した運転挙動パラメータ（速度低下量や急挙動発生回数等）を説明変数で表現する重回帰モデルを構築した。さらに、構築したモデルを用いて、現在は渋滞していない潜在的ボトルネックの交通容量の試算を行った。

その結果、単路部の交通容量については、ETC2.0プローブ情報から得られる速度低下量及び急挙動の発生割合等を説明変数としたモデルが選択された。このことは、ボトルネックとなる区間では、非渋滞時であっても他の区間と比べて減速や急挙動が発生しやすい傾向にあり、それが交通容量と何らかの関係性がある可能性を示唆している。

但し、分析においては、下記に示す課題が確認されており、その精査が課題である。

- 交通容量を推定する際に、渋滞発生の判定を行うための臨界速度については、便宜上ボトルネックによらず

共通で設定しており、実際の値とズレがある可能性がある。ボトルネック毎に適切な閾値を設定することで、より正確に渋滞発生確率の算出を行うことが望ましい。

・交通容量を推定する重回帰モデルにおいて、幾何構造のパラメータが有意とならなかった。また、推定精度には改善の余地がみられる。これは、ETC2.0プローブ情報から得られる運転挙動パラメータにより、幾何構造による影響が内包されているためであることも推察されるが、今回は両者の相関関係は確認できなかった。勾配等の道路構造と一台一台の軌跡、速度変化、急挙動の発生状況を照らし合わせて分析する等の精査を行うことで、減少を理解するとともに、交通容量推定モデルの改良方針を検討することが重要である。重回帰モデルを他の路線や潜在的ボトルネック区間にも適用可能であるかを検証する必要がある。

謝辞：本研究に際して、東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社及び首都高速道路株式会社より、車両感知器情報をご提供頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省社会資本整備審議会：高速道路を中心とした「道路を賢く使う取組」の基本方針, http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/road01_sg_000218.html, (最終閲覧日 2018/7/20)
- 2) 鹿野島秀行, 鈴木一史, 野中康弘, 牧野浩志 : ETC2.0 プローブデータの高速道路単路部ボトルネック分析への適用, 第 35 回交通工学研究発表会論文集, pp.215-221, 2015.
- 3) 井坪慎二, 吉村仁志, 牧野浩志, 西井禎克, 加納英明, 金木大輔, 山田康右 : ETC2.0 プローブデータを用いた高速道路単路部ボトルネック位置の特定手法, 土木計画学研究・講演集, Vol.54, 6 pages, 2016.
- 4) Brion, W., Geistefeldt, J., Regler, M.: Reliability of Freeway Traffic Flow :A stochastic Concept of Capacity, Proceedings of the 16th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, pp.125-144, 2005.
- 5) Jian XING, 佐藤久長, 高橋秀樹, 吉川良一 : 高速道路のボトルネック交通容量分布及び渋滞発生確率の推定, 交通工学研究発表会論文報告集, Vol.26, pp.49-52, 2006.
- 6) 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, 2010.
- 7) 小林正人, 中村英樹, 浅野美帆, 米川英雄 : 都市間高速道路におけるボトルネック交通容量の確率的特性分析, 第 31 回交通工学研究発表会論文集, pp.133-138, 2011.
- 8) (社)日本道路協会 : 道路の交通容量, 1984.
- 9) 石田貴志, Jian XING : 都市間高速道路における交通容量の現状と課題, 土木計画学研究・講演集 Vol.47, 8 pages, 2013.
- 10) 岡村秀樹, 渡辺修治, 泉正之 : 高速道路単路部の交通容量に関する調査研究 (下), 高速道路と自動車, Vol.44, No.3, pp.30-40, 2001.

(?)

A STUDY ON THE ESTIMATION OF CAPACITY AT EXPRESSWAY BOTTLENECKS USING THE ETC 2.0 PROBE DATA

Yuna MAKI, Azusa GOTO, Kazunori OOSHIMA and Yuji IKEDA

Traffic capacity at bottlenecks is one of the most important parameters in expressway network operation. However measuring traffic capacity needs a large amount of detector data about breakdown phenomena. This research attempted to develop a model to estimate traffic capacities using the ETC2.0 probe data obtained during uncongested periods. For that, capacities at the current bottlenecks on the Tokyo metropolitan expressway network were obtained based on the detector data. On the other hand, some parameters about speed reduction, sudden braking and steering were extracted to represent driving characteristics around the bottlenecks from the ETC2.0 probe data. Based on these results, a multiple linear regression model was developed. The result showed that speed reduction as well as sudden deceleration and steering are likely to occur around the bottlenecks even during the uncongested periods, suggesting the possibility of some relevance to the traffic capacities.