

**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***
Estimation of Latent Bottleneck Capacity of Expressways and
Application of Probabilistic Capacity Model to Whole Year Congestion Prediction*

Jian XING**・宇佐見純二***・福島賢一****・佐藤久長*****

By Jian XING**・Junji USAMI***・Kenichi FUKUSHIMA****・Hisanaga SATO*****

1. はじめに

高速道路の単路部における渋滞は、縦断線形のサグ部やトンネル入り口付近等が、交通容量上のボトルネック（以下、「BN」と記述する）となって発生することが広く知られている^{1)・2)}。渋滞による社会的損失は多大なものであり、交通事故防止や地球環境問題への取り組みとしても、将来の交通需要の動向も踏まえた早急な渋滞対策が求められている。近年の社会経済情勢を踏まえると、より一層の効率的かつ効果的な対策の実施が必要であり、そのためには、現状の渋滞要因の把握とともに、将来の渋滞発生状況を精度良く予測する必要がある。渋滞予測の主な入力条件となるBN交通容量は、その値が渋滞規模に直接関わり、対策工の選定にも影響を及ぼすため、BN交通容量推定の精緻化は渋滞を予測する上で非常に重要となる。

顕在化しているBN付近に、渋滞対策として車線数の増加や付加車線を設置すると、これまで発生（顕在化）していなかった箇所での渋滞発生が予想されるため、渋滞予測の際には、こうした潜在的BN箇所の特定や交通容量の設定が必要となる。

これまで、暫定2車線区間においては、BN交通容量とBN付近の道路構造等との関係から潜在的BN交通容量の推定式が提案されている³⁾。しかし、2車線及び3車線区間における潜在的BN交通容量の推定式は提案されていない。

また、従来の渋滞予測に用いられる交通容量は、平均的な一定値として与えられることが多いが、渋滞発生回数等において再現性に課題がある。これまでの研究において、あるレベルの交通需要がBNに到達して

も、渋滞が発生する場合と発生しない場合があること、高いレベルの交通需要であっても必ずしも渋滞が発生するわけではないことが報告されている。そのため、従来のようにBNでの渋滞発生と交通容量を確率的に扱うことに代わり、近年では交通渋滞の発生を確率事象としてBN交通容量の確率論的定義を試行する研究も現れている^{4)・9)}。

以上の点を踏まえ、本検討では多車線（2車線、3車線）区間における顕在化BN交通容量の推定式を求め、それを非渋滞時のフローティング調査による速度低下状況から位置を特定した潜在的BNに適用して交通容量を算出した。さらに、渋滞発生時と非渋滞時の交通量データを用いて、顕在化及び潜在的BNの交通容量確率分布を推定し、これらを将来渋滞予測の実務の場面で適用し渋滞予測の精度向上を試みた。

2. BN交通容量と道路構造等との関係

（1）BN付近の道路構造等

BN交通容量とBN付近の道路構造等との関係を分析するため、既往検討結果等を参考に比較的重交通路線（東名、名神、中央道、東北道、関越道、常磐道、京葉道、中国道）の39箇所（片側3車線：16箇所、片側2車線：23箇所）における顕在化BN付近の道路構造等を整理した。なお、分析対象とした39箇所のBN箇所は、概ね2km間隔に設置された車両感知器データによる交通量速度データや縦断線形データ等を踏まえて特定されたものである。

図-1と図-2に示すように、分析に使用した39箇所の既存BNの渋滞要因は、3車線、2車線ともにサグが約6割、トンネルが2割前後である。

また、分析箇所（39箇所）付近の道路構造等の特徴として、図-3にはBN上流側縦断勾配、図-4にはBN下流側縦断勾配を示す。上流側縦断勾配は3車線、2車線ともに1~0%が最も多い。下流側縦断勾配は、3車線では1~2%が最も多く、2車線では2~3%が最も多い。

*キーワード：ボトルネック交通容量、交通容量の確率分布、渋滞予測

**正員、工博、(財) 高速道路調査会 研究部

(東京都港区芝4-17-5、TEL03-6436-2084、FAX03-6436-2097)

***正員、中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 交通技術部

(名古屋市中区錦1-8-11、TEL052-212-4399、FAX052-219-2679)

****正員、工修、(株) 福山コンサルタント 東日本事業部

(東京都江東区亀戸2-25-14、TEL03-3683-0722、FAX03-5628-7212)

*****正員、中日本高速道路(株) 東京支社 秦野工事事務所

(秦野市末広町1-1、TEL0463-80-5600、FAX0463-83-4000)

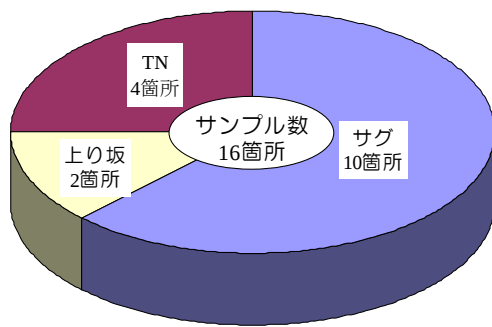


図-1 既存BN箇所の渋滞要因（3車線）

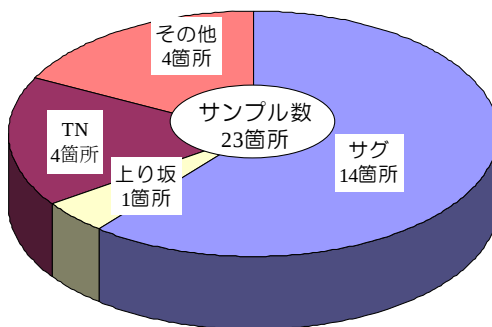


図-2 既存BN箇所の渋滞要因（2車線）

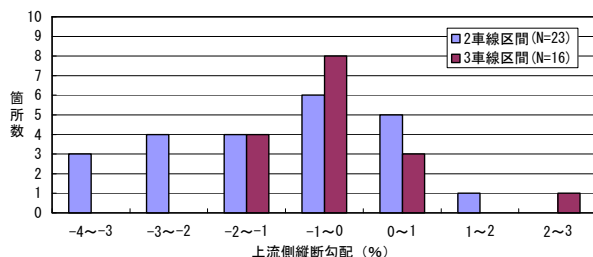


図-3 BN箇所の上流側縦断勾配

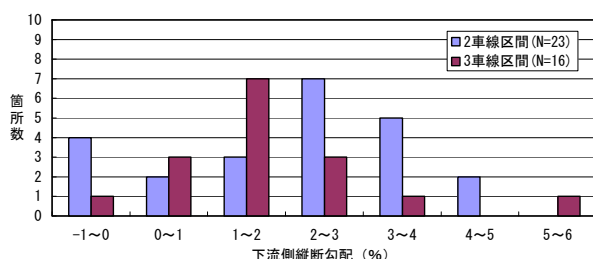


図-4 BN箇所の下流側縦断勾配

既存BNの道路構造等の整理項目を表-1 に、図-5 にはその説明図を示している。なお、表-1 に示す整理項目は、BN交通容量とBN付近の道路構造等との関係分析の際の説明変数としての適用を見据えて整理したものである。例えば、「⑧当該サグの上流ICからの順位」は、図-5 に示すようにIC合流車両等の

影響やICからBNまでの距離がBN交通容量に影響を及ぼし得る可能性を考慮して、本論文では上流ICから当該サグの順位（例えば、上流ICから最初のサグは1、2番目のサグは2）を整理した。なお、同一BNにおいても渋滞発生日時の若干の変動があるが、本研究では平均的な交通容量を求めることを考慮し、「⑨平休区分」「⑩渋滞発生時間帯」は渋滞発生頻度の多いもので代表させ、「⑮渋滞発生時交通量」「⑯渋滞発生後捌け交通量」は、既往検討などにて算出された平均値（分析対象期間はBNにより異なるが、9ヶ月～6年間）で代表させた。

表-1 BN付近の道路構造等の整理項目

①	[iu] サグの上流側縦断勾配 (%)
②	[lu] サグの上流側縦断勾配長 (km)
③	[id] サグの下流側縦断勾配 (%)
④	[ld] サグの下流側縦断勾配長 (km)
⑤	[iud] サグの縦断勾配差 (%)
⑥	[lv] 縦断曲線長 (m)
⑦	[rv] 縦断曲線半径 (km)
⑧	[nosag] 当該サグの上流ICからの順位
⑨	[tday] 平休区分 (平日: 0、休日: 1)
⑩	[tp] 渋滞発生時間帯 (昼間: 0、夕方・夜間: 1)
⑪	[tbn] BN道路構造 (サグ: 0、TN: 1)
⑫	[rh] 平面曲線半径 (m)
⑬	[licu] 上流側施設までの距離 (km)
⑭	[licd] 下流側施設までの距離 (km)
⑮	[Q0] 渋滞発生時交通量 (台/時)
⑯	[Q1] 渋滞発生後捌け交通量 (台/時)

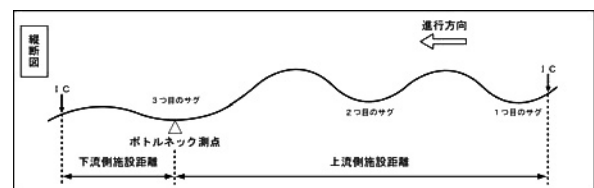
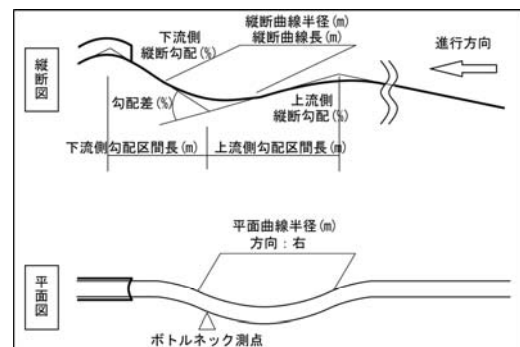


図-5 BN付近の道路構造の説明図

(2) BN交通容量と道路構造等との相関分析

表-1 に示す道路構造等の整理項目におけるBNの

渋滞発生時交通量（Q0）、渋滞発生後捌け交通量（Q1）とその他道路構造等との単相関表を3車線区間及び2車線区間についてそれぞれ表-2及び表-3に示す。表-2に示すように3車線区間では、渋滞発生時交通量（Q0）は、サグ下流側縦断勾配（id）、サグの縦断勾配差（iud）、平休区分（tday）との相関が高い。渋滞発生後捌け交通量（Q1）は、サグ下流側縦断勾配（id）や渋滞発生時間帯（tp）、上流側縦断勾配（iu）との相関が高い。その他道路構造等の各項目相互の相関では、サグ縦断勾配差（iud）とサグ下流側縦断勾配（id）、サグ上流側縦断勾配（iu）とサグ下流側縦断勾配（id）などの相関が高いことがわかる。

表-3に示すように2車線区間では、渋滞発生時交通量（Q0）、渋滞発生後捌け交通量（Q1）ともに平休区分（tday）及び渋滞発生時間帯（tp）、縦断曲線半径（rv）との相関が高い。その他道路構造等の各項目相互の相関では、縦断曲線半径（rv）と縦断曲線長（lv）、サグ縦断勾配差（iud）とサグ下流側縦断勾配（id）などの相関が高い。なお、相関分析にあたっては、表-1のうち交通容量への影響の大きいと思われる説明要因の①～⑪と交通容量⑮、⑯の項目を対象とした。

表-2 BN交通容量と道路構造等の単相関表
（3車線区間）

単相関	iu	lu	id	ld	iud	lv	rv	nosag	tday	tp	tn	Q0	Q1
iu	1.00												
lu	-0.17	1.00											
id	0.61	-0.19	1.00										
ld	0.24	0.13	0.28	1.00									
iud	-0.14	-0.09	0.70	0.14	1.00								
lv	-0.35	0.42	-0.07	0.57	0.23	1.00							
rv	-0.16	0.38	-0.55	0.40	-0.54	0.56	1.00						
nosag	0.04	-0.06	0.13	0.20	0.13	-0.08	-0.05	1.00					
tday	-0.26	0.06	-0.60	-0.39	-0.51	0.00	0.29	-0.30	1.00				
tp	-0.48	-0.19	-0.22	0.01	0.15	0.22	-0.14	0.38	0.03	1.00			
tn	0.03	-0.13	0.27	-0.23	0.31	-0.28	-0.46	0.30	-0.21	-0.04	1.00		
Q0	0.24	-0.25	0.51	0.23	0.42	-0.30	-0.26	0.33	-0.43	-0.41	0.32	1.00	
Q1	0.58	-0.27	0.69	0.24	0.35	-0.25	-0.30	-0.17	-0.36	-0.68	0.20	0.71	1.00

表-3 BN交通容量と道路構造等の単相関表
（2車線区間）

単相関	iu	lu	id	ld	iud	lv	rv	nosag	tday	tp	tn	Q0	Q1
iu	1.00												
lu	-0.12	1.00											
id	-0.08	-0.73	1.00										
ld	-0.22	0.69	-0.62	1.00									
iud	-0.72	-0.43	0.75	-0.29	1.00								
lv	-0.08	0.74	-0.54	0.72	-0.32	1.00							
rv	0.13	0.56	-0.46	0.38	-0.40	0.82	1.00						
nosag	-0.18	-0.39	0.46	-0.19	0.44	-0.28	-0.29	1.00					
tday	-0.12	0.13	-0.08	0.23	0.03	0.02	-0.25	0.05	1.00				
tp	0.17	-0.04	0.20	-0.18	0.03	0.02	0.19	-0.19	-0.61	1.00			
tn	0.06	-0.32	0.22	-0.04	0.11	-0.18	-0.13	0.28	-0.23	-0.14	1.00		
Q0	0.32	0.11	-0.14	-0.15	-0.31	0.12	0.35	-0.29	-0.77	0.52	-0.26	1.00	
Q1	0.15	0.04	-0.15	-0.18	-0.20	0.21	0.45	-0.28	-0.79	0.49	-0.04	0.85	1.00

（3）BN交通容量の推定

BNの渋滞発生時交通量と渋滞発生後捌け交通量を目的変数、整理したBN付近の道路構造等を説明変数として重回帰分析を行った。解析は、渋滞発生時交

通量及び渋滞発生後捌け交通量と道路構造等との関係それぞれについて車線数別（3車線 [16箇所]、2車線 [23箇所]）に行った。なお、重回帰分析に用いる説明変数の選択は、変数増加法、変数減少法及び変数増減法にて分析を行い、最終的にはAIC値の小さい回帰式を採用した。

表-4と表-5には3車線区間、表-6と表-7には2車線区間における重回帰分析結果を示す。渋滞発生時交通量、渋滞発生後捌け交通量についての説明変数のt検定及び回帰式のF検定を実施した結果、3車線区間、2車線区間ともに有意であることが確認できた。

表-8に片側2車線及び3車線区間の顕在化BN交通容量の推定式、図-6と図-7にそれぞれ渋滞発生時交通量と渋滞発生後捌け交通量の推定式を用いた推定値と観測値の相関関係を示す。図より、推定式は修正済重相関係数0.81～0.92と高い精度を持っている。

表-4 渋滞発生時交通量と道路構造等の分析結果
（3車線区間）

(1) 解析精度					
重相関係数 (R)	修正済重相関係数 (R)	赤池統計量 基準 (AIC)			
0.86	0.81	218.2			
(2) 分散分析表					
要因	偏差平方和	自由度	平均平方和	F値	有意確率
回帰変動	1078522.0	4	269630.5	8.00	0.00
誤差変動	370393.4	11	33672.1		
全体変動	1448915.4	15			
(3) 重回帰式					
変数名	偏回帰係数	標準誤差	T値	有意確率	
定数項	4933	161.61	30.52	0.00	
渋滞発生時間帯	-466.8	103.14	-4.53	0.00	
上流ICから当該地点까지 順位	182.1	56.16	3.24	0.01	
縦断勾配差	133.5	48.00	2.78	0.02	
上流側縦断勾配長	-125.3	61.92	-2.02	0.07	

表-5 渋滞発生後捌け交通量と道路構造等の分析結果
（3車線区間）

(1) 解析精度					
重相関係数 (R)	修正済重相関係数 (R)	赤池統計量 基準 (AIC)			
0.95	0.92	196.2			
(2) 分散分析表					
要因	偏差平方和	自由度	平均平方和	F値	有意確率
回帰変動	1611273.0	5	322254.6	17.57	0.00
誤差変動	165049.4	9	18338.8		
全体変動	1776322.4	14			
(3) 重回帰式					
変数名	偏回帰係数	標準誤差	T値	有意確率	
定数項	4549	146.59	31.04	0.00	
渋滞発生時間帯	-563.5	72.02	-7.82	0.00	
縦断勾配差	72.97	47.70	1.53	0.16	
上流側縦断勾配長	-148.6	50.01	-2.97	0.02	
下流側縦断勾配長	298.7	95.63	3.12	0.01	
縦断曲線半径	-3.87	1.94	-1.99	0.08	

表-6 渋滞発生時交通量と道路構造等の分析結果
(2車線区間)

(1)解析精度					
重相関係数 (R)	修正済 重相関係数 (R)	赤池統計量 基準 (AIC)			
0.93	0.91	244.9			
(2)分散分析表					
要因	偏差 平方和	自由度	平均 平方和	F値	有意 確率
回帰変動	852728.7	4	213182.2	23.87	0.00
誤差変動	133949.5	15	8930.0		
全体変動	986678.2	19			
(3)重回帰式					
変数名	偏回帰 係数	標準 誤差	T値	有意 確率	
定数項	3556	70.71	50.29	0.00	
平休区分	-440.06	59.58	-7.39	0.00	
ボトルネックタイプ	-326.59	65.49	-4.99	0.00	
上流側縦断勾配	41.1	15.32	2.68	0.02	
渋滞発生時間帯	-84.1	58.00	-1.45	0.17	

表-7 渋滞発生後捌け交通量と道路構造等の分析結果
(2車線区間)

(1)解析精度					
重相関係数 (R)	修正済 重相関係数 (R)	赤池統計量 基準 (AIC)			
0.89	0.85	257.9			
(2)分散分析表					
要因	偏差 平方和	自由度	平均 平方和	F値	有意 確率
回帰変動	945418.5	4	236354.6	13.82	0.00
誤差変動	256582.0	15	17105.5		
全体変動	1202000.6	19			
(3)重回帰式					
変数名	偏回帰 係数	標準 誤差	T値	有意 確率	
定数項	3112	108.53	28.67	0.00	
平休区分	-353.3	62.97	-5.61	0.00	
下流側縦断勾配長	-177.35	68.40	-2.59	0.02	
縦断曲線長	0.18	0.07	2.46	0.03	
下流側縦断勾配	-47.86	25.78	-1.86	0.08	

なお、本研究では既存の顕在化BNのデータから推定されたBN交通容量の推定式(表-8)を、潜在的BN交通容量の推定式として適用した。その理由は以下の通りである。

既往の暫定2車線区間の類似研究³⁾では、顕在化BN交通容量の推定式を潜在的BNに適用した交通容量の予測値と対策後顕在化BNになった実際の観測値との検証結果、推定誤差が約数パーセントとなっており、顕在化BN交通容量推定式の潜在的BNへの適用が可能であることが確認されている。また、表-8の推定式に用いた顕在化BNには元々潜在的BNであったが、その後上流BNの付加車線の設置等により顕在化になったものも含まれている可能性がある。

そして、潜在的BN交通容量の推定については、現段階では十分な知見が得られていないこと、将来の顕在化が予想される潜在的BNの交通容量と各影響要因との関係は、現在の顕在化BN交通容量との関係と同じであるとする仮定を踏まえて、顕在化BN交通容

量の推定式を潜在的BNの交通容量の推定式として適用した。潜在的BN交通容量推定式への適用の妥当性については、今後の課題として留意が必要である。

表-8 BN交通容量の推定式

片側 3車線	渋滞 発生時	$(-466.8) \times [\text{渋滞発生時間帯 (夕夜1,他0)}]$ $+ (182.1) \times [\text{上流ICからの当該地点が順立}]$ $+ (133.5) \times [\text{縦断勾配差 (\%)}]$ $+ (-125.3) \times [\text{上流側縦断勾配長 (km)}]$ $+ 4933$
	渋滞 発生後	$(-563.5) \times [\text{渋滞発生時間帯 (夕夜1,他0)}]$ $+ (72.97) \times [\text{縦断勾配差 (\%)}]$ $+ (-148.6) \times [\text{上流側縦断勾配長 (km)}]$ $+ (298.7) \times [\text{下流側縦断勾配長 (km)}]$ $+ (-3.866) \times [\text{縦断曲線半径 (km)}]$ $+ 4549$
片側 2車線	渋滞 発生時	$(-440.1) \times [\text{平休区分 (平0,休1)}]$ $+ (-326.6) \times [\text{BNタイプ (TN1,サ0)}]$ $+ (41.10) \times [\text{上流側縦断勾配 (\%)}]$ $+ (-84.05) \times [\text{渋滞発生時間帯 (夕夜1,他0)}]$ $+ 3556$
	渋滞 発生後	$(-353.3) \times [\text{平休区分 (平0,休1)}]$ $+ (-177.4) \times [\text{下流側縦断勾配長 (km)}]$ $+ (0.178) \times [\text{縦断曲線長 (m)}]$ $+ (-47.86) \times [\text{下流側縦断勾配長 (km)}]$ $+ 3112$

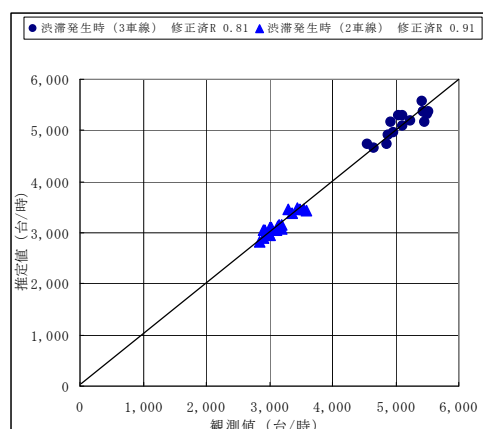


図-6 BN交通容量の推定値と実測値
(渋滞発生時交通量)

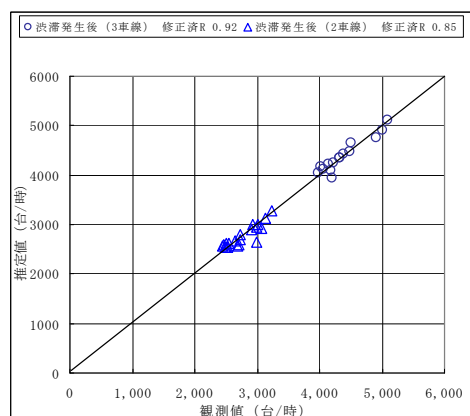


図-7 BN交通容量の推定値と実測値
(渋滞発生後捌け交通量)

3. 交通容量確率分布の推定

(1) 交通量ランク別渋滞発生割合

顕在化BN箇所における交通量ランク別の出現頻度及び渋滞発生割合（渋滞発生頻度と出現頻度との比）を図-8に示す。

これをみると、観測された渋滞発生時交通量はかなり広い範囲に分散し、各交通量ランクにおいても渋滞が発生する時と発生しない時があることが分かる。また、交通量レベルが大きくなると、交通量ランク別の渋滞発生割合は概ね高くなる傾向にあるが、図のように観測された最大交通量付近で低くなるケースもみられる。なお、ここに示す交通量出現頻度は、渋滞流を除いた15分間フローレートの階級別出現頻度である。

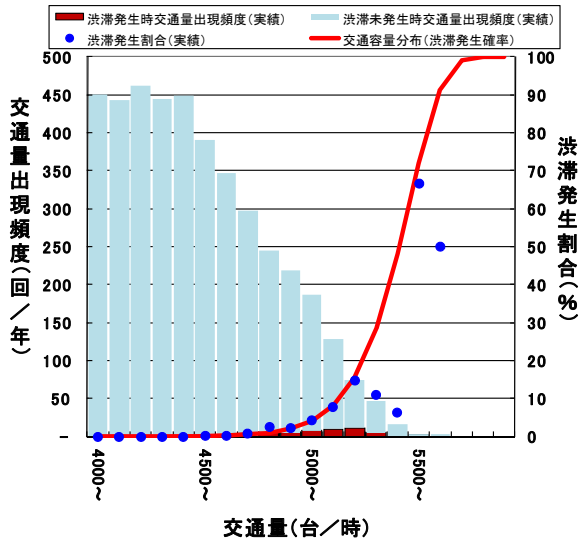


図-8 交通量ランク別の出現頻度及び渋滞発生割合
(東名(上り):大和TN【H17】)

(2) 顕在化BNの交通容量確率分布の推定⁸⁾

ここでは、最尤推定法を用いて、非渋滞発生時の交通量データも考慮して交通容量分布 $F_c(q)$ の推定を行った。最尤推定法では、以下の尤度関数の対数 $\ln(L)$ 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ものであり、過去に観測された交通量ランク別の渋滞発生頻度と非渋滞発生頻度を用いて、事前に仮定した交通容量の確率分布関数のパラメータを推定するパラメトリック法である。

$$L(x_i) = \prod_{i=1}^n f_c(q_i)^{\delta_i} \cdot [1 - F_c(q_i)]^{1-\delta_i} \quad (1)$$

ここで、

$f_c(q_i)$: 交通容量 c の確率密度分布関数(PDF)

$F_c(q_i)$: 交通容量 c の累積確率分布関数(CDF)

n : 交通量ランク数

δ_i : 1 (渋滞が発生した場合)

δ_i : 0 (渋滞が発生しない場合)

x_i : 分布関数の未知パラメータ

なお、 $F_c(q)$ には、ワイブル分布、極値分布、ロジスティック分布を仮定して、最尤推定法により推定した交通容量確率分布が概ね一致しているという筆者ら⁸⁾の知見等を参考に、本研究ではワイブル分布を用いた。

$$\text{PDF: } f(q) = \alpha \beta^{-\alpha} q^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{q}{\beta}\right)^{\alpha}} \quad (2)$$

$$\text{CDF: } F_c(q) = 1 - e^{-\left(\frac{q}{\beta}\right)^{\alpha}} \quad \alpha, \beta > 0 \quad (3)$$

ここで、 α 、 β はそれぞれワイブル分布の形状パラメータ、スケールパラメータである。形状パラメータ α が大きくなるほど、分布の傾きが急になり、分布の範囲が狭くなる。また、スケールパラメータ β は概ね横方向である交通量軸における分布の位置を示すが、 β の値が小さくなるほど、分布の傾きがやや急になり、それにより分布の範囲がやや狭くなる。

なお、ワイブル分布の平均値(期待値)は式(4)により求められる。

$$\mu = \beta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \quad (4)$$

東名(上り)の大和TNにおいて、最尤推定法により推定された交通容量のワイブル分布を図-8(赤線)に示す。また、本研究での渋滞予測対象区間(東名 東京IC~厚木ICと中央道 高井戸IC~上野原IC)のすべての顕在化BNにおける交通容量のワイブル分布のパラメータ(α 、 β)を表-9に示す。中央道の2車線区間のBNにおける交通容量のワイブル分布の形状パラメータ α は概ね20~35の範囲、スケールパラメータ β は概ね3,000~4,300台/時の範囲にある。一方、東名の3車線区間(東京~厚木)のBNについては、 α は概ね35~60の範囲、 β は概ね5,500~5,800台/時の範囲にある。

また、相対的にサンプル数の多い中央道の2車線区間におけるワイブル分布のパラメータ α と β との関係を図-9に、それぞれのパラメータとサブの勾配差との関係を図-10に示す。

ワイブル分布の形状パラメータ α とスケールパラメータ β との関係をみると、相関係数の高い負の相関があることがわかる。更に、分布パラメータと勾配差との関係をみると、勾配差の増加に伴い、形状パラメータ α はやや増加傾向、一方のスケールパラメータ β は逆にやや減少傾向をそれぞれ示している。これらの傾向は稲野らの分析結果⁹⁾と概ね一致する。

表-9 推定された交通容量分布のパラメータ
(渋滞予測対象とした顕在化 BN)

路線	上下	区間 (※トヨタ社名称)	渋滞先頭 kp	車線 数	縦断勾配 (%)		勾配差 (%)	Weibull分布 パラメータ	
					上流側	下流側		α	β
東名	上り	横浜町田－厚木 (大和TN)	24.5	3	0.403	2.370	1.97	36.7	5,563.0
		横浜町田－厚木 (海老名SA分流部)	32.0	3	0.216	1.965	1.75	44.6	5,470.6
	下り	横浜町田－厚木 (大和BS)	22.5	3	-0.227	2.377	2.60	49.2	5,764.0
		横浜町田－厚木 (綾瀬BS)	26.5	3	-0.403	0.516	0.92	58.6	5,763.1
中央道	上り	高井戸－調布 (深大寺BS)	4.7	2	0.440	2.700	2.26	24.3	3,968.7
		高井戸－調布 (調布IC合流)	6.7	2	-0.192	0.350	0.54	24.7	3,843.9
		稲城－国立府中 (国立府中IC)	15.1	2	-0.460	-0.226	0.23	20.0	4,305.1
		八王子－相模湖 (小仏TN)	41.0	2	0.500	3.200	2.70	33.8	3,013.7
		相模湖－上野原 (上野原IC)	49.3	2	-1.200	2.100	3.30	26.7	3,538.3
	下り	国立府中－八王子 (日野BS)	20.7	2	-0.011	0.300	0.31	27.9	3,463.1
		八王子－相模湖東 (元八王子BS)	31.8	2	1.000	2.700	1.70	27.3	3,441.0

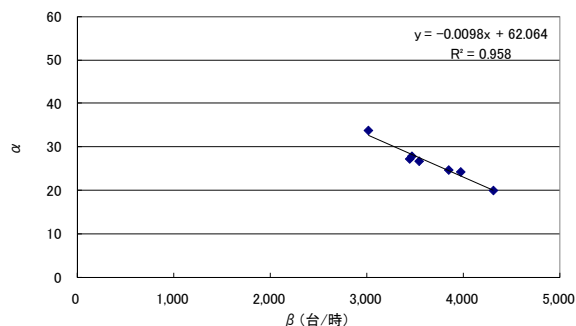
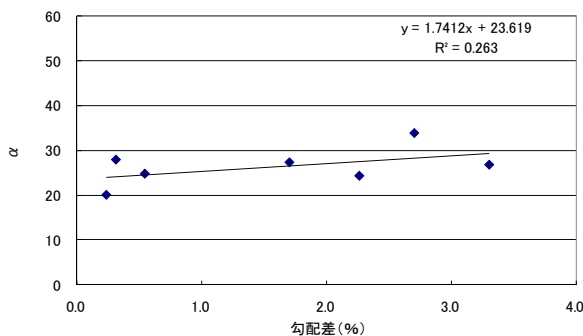
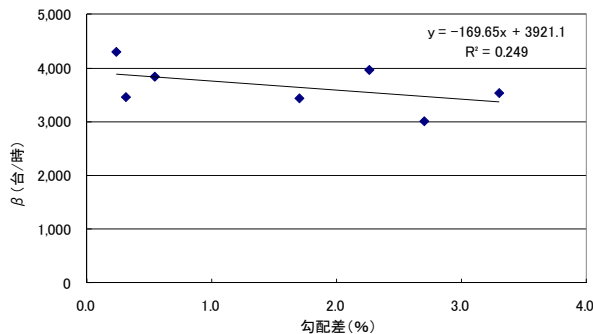


図-9 ワイブル分布パラメータ α と β との関係
(2車線区間)



(1) 勾配差と形状パラメータ α との関係



(2) 勾配差とスケールパラメータ β との関係

図-10 サグの勾配差とワイブル分布パラメータの関係
(2車線区間)

図-11 に東名(上り)の大和 TN における推定された交通容量(渋滞発生時交通量; 赤線)及び観測された渋滞発生時交通量(黒線)の累積分布を示す。

図より、顕在化BNにおける推定された交通容量分布と観測された渋滞発生時交通容量の累積分布を比較すると、前者が後者より右に位置し、推定された交通容量が観測された渋滞発生時交通量より大きいことがわかる。これは、後者は渋滞発生時のデータしか考慮していないのに対し、前者は渋滞非発生時のデータ(交通需要)も取り入れているためである。

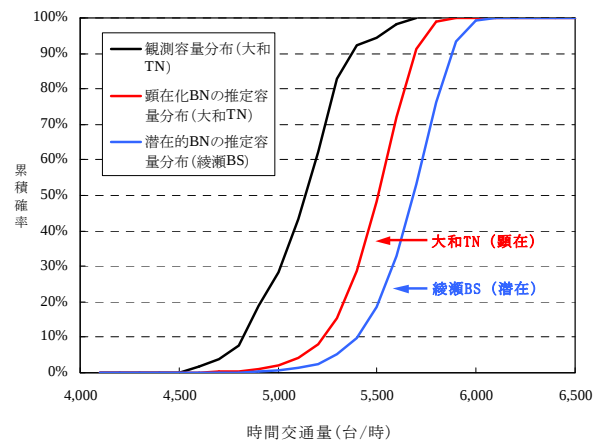


図-11 観測及び推定BN交通容量の累積分布
(東名(上り): 大和 TN 及び綾瀬 BS【H17】)

(3) 潜在的BNの交通容量確率分布の推定

潜在的BNでは渋滞が顕在化していないため、直接的に交通容量確率分布を推定できない。そこで、式(5)と(6)を用いて近似的に潜在的BNの交通容量の確率分布 $Fc'(q)$ を求めることにした。

潜在的BNの交通容量分布の形状パラメータ α' については同一 IC 区間内あるいは直近の顕在化BNのそれと同じと仮定した。

また、スケールパラメータ β' については、2. で求められた回帰式から推定した潜在的BNの渋滞発生時交通量と同一 IC 区間内あるいは直近の顕在化BNの観測された渋滞発生時交通量の平均値の差分を用いて、同一 IC 区間内あるいは直近の顕在化BNの交通容量確率分布のスケールパラメータ β を下式にて補正して求めた。つまり、式(6)は顕在化BNの観測された平均交通容量と回帰式から推定した潜在的BNの平均交通容量の差分と、顕在化BNと潜在的BNの交通容量分布から求めたそれぞれ交通容量の期待値の差分が同じと仮定して得たものである。

$$Fc'(q) = 1 - e^{-\left(\frac{q}{\beta'}\right)^{\alpha'}} \quad (5)$$

$$\beta' = \beta + (Qc_潜 - Qc_顕) / \Gamma(1 + 1/\alpha') \quad (6)$$

ここに、

Q : 時間交通量

α' : 潜在的BNの交通容量分布の形状パラメータ (=同一 IC 区間内あるいは直近の顕在化BNの形状パラメータ α)

β' : 潜在的BNの交通容量分布のスケールパラメータ

β : 同一IC区間内あるいは直近の顕在化BNのスケールパラメータ

$Qc_潜$: 潜在的BNの渋滞発生時交通量推定値 (台/時)

$Qc_顕$: 顕在化BNの渋滞発生時交通量の平均値 (台/時)

図-11 に一例として潜在的BN (東名(上り)の綾瀬BS) の交通容量分布の推定結果 (青線) を示す。

4. 交通容量確率分布を用いた年間渋滞予測モデルの精度検証

本検討では、概念的には広義の I/O 法に属するポイントキュー (Point queue) 法を渋滞予測モデルに用いた。整備効果検討に必要な将来渋滞予測を行うため、年間 365 日の日交通量に時間変動パターン (時間係数) を乗じて時間帯別交通量を算出し、これを設定した交通容量と比較しながら渋滞発生の判定を行い、渋滞に関わる諸指標を算出した。なお、時間変動パターンは、現況再現時及び将来渋滞予測時ともに平日、土曜日、日曜日に交通混雑期 (GW、お盆、年末年始) を加えた 4 パターンで近似させた。

また、渋滞予測に用いる BN の交通容量について、従来の方法では、ある一定の平均交通容量を使っていたが、本検討では実際交通容量が変動することを考慮して、3. で推定された顕在化BNと潜在的BNの交通容量分布を用いることにした。

本検討では東名 (東京 IC~厚木 IC 間)、中央道 (高井戸 IC~上野原 IC 間) を対象に渋滞予測を行っている。顕在化BNは、渋滞統計データから対象区間において年間 5 回以上の渋滞発生箇所を整理し、そのうち交通量速度変動図から下流側の渋滞の影響による箇所等を排除して抽出した。顕在化BN付近に、渋滞対策として車線数の増加や付加車線を設置すると、顕在化していなかった箇所での渋滞発生が予想されるため、渋滞予測の際には、こうした潜在的BN箇所の特定が必要となる。この潜在的BNについては、非渋滞時におけるフローティング調査を実施し、速度低下状況を勘案して抽出し、これに年間 5 回以下の渋滞発生箇所も加えた。図-12 に東名 (上り) 横浜町田 IC~厚木 IC における潜在的BNの設定例を示す。

渋滞発生時交通量については顕在化BN、潜在的

BNともに推定した交通容量確率分布に乱数を発生させることでBNにおける年間 365 日分を設定した。渋滞発生後捌け交通量については、顕在化BNは当該地点の交通容量観測値、潜在的BNは潜在的BN交通容量推定式から算出した推定値を使用している。

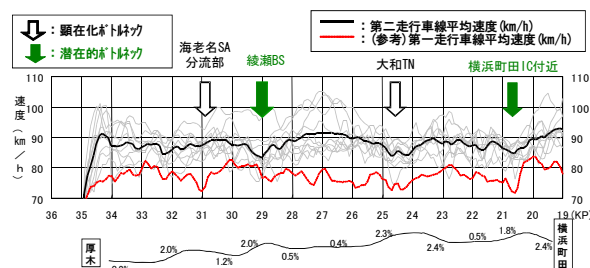


図-12 潜在的BN箇所の設定例

これらの渋滞予測条件をもとに検討対象区間において、年間渋滞予測モデルの精度検証を行った。図-13 には中央道上り線を例とした各BNにおける実績渋滞図 (H17) と予測渋滞図を示す。また、検討対象区間の全BNでの渋滞発生日数及び渋滞量の実績値 (H17) と予測値の比較をそれぞれ図-14、図-15 に示す。図中の渋滞日数と渋滞量の予測値には、確定的な交通容量によるものとここで提案した交通容量の確率分布によるものを示している。

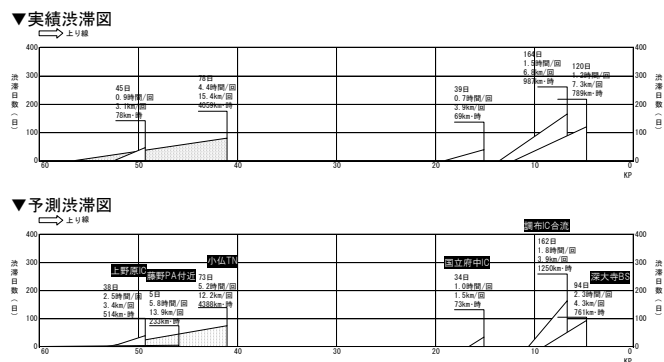


図-13 中央道上り線の実績及び予測渋滞図 (H17)

図-14 と図-15 に示すように、渋滞発生日数及び渋滞量ともに、交通容量確率変動を考慮した場合は、従来の確定的な交通容量を用いた場合に比べて精度よく現況を再現できている。本渋滞予測モデルでは、現況再現時にも潜在的BNを考慮しており、付加車線設置等による渋滞発生状況の変化を予測することが可能であり、将来の渋滞対策検討にも適用できる。

交通容量確率分布を用いた渋滞予測は、以下のような特徴を主に有しており、より実際に近い渋滞発生状況を再現できる。

- ・交通需要の大小に関わらず、渋滞が発生する日とし

ない日を再現できる。

- ・同一 IC 間に複数の BN があり、上流側の交通容量が小さい場合でも上流側で発生せず下流側で発生するような事象を再現できる。

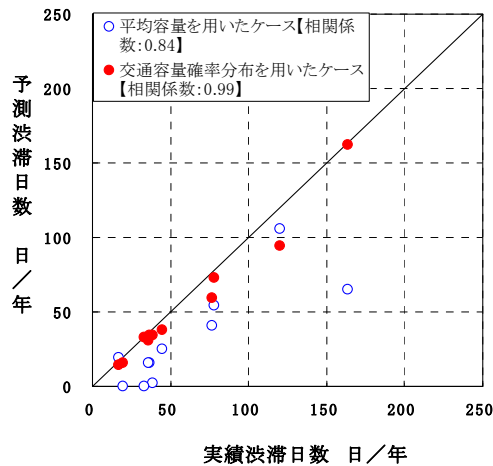


図-14 現況再現精度の比較（渋滞日数）

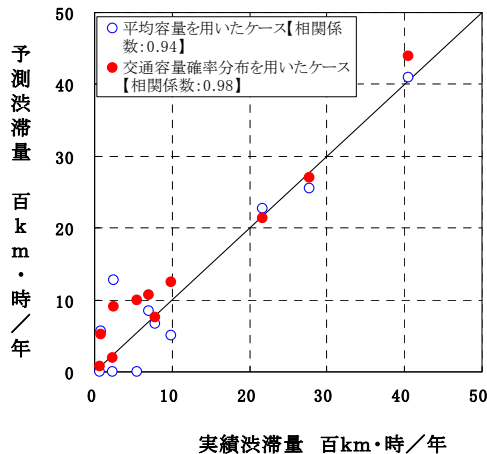


図-15 現況再現精度の比較（渋滞量）

5. おわりに

2車線区間及び3車線区間のBNの交通容量を推定するために、計39箇所の顕在化BNを対象にBN箇所付近の道路交通環境要因を説明変数とする重回帰分析を行った結果、修正済重相関係数0.81~0.92と高い精度の推定式が得られた。また、これまでに提案された顕在化BNの交通容量確率分布に加え、潜在的BNにおける交通容量確率分布を提案した。

これら交通容量の確率分布を用いて年間の渋滞予測を試みた結果、従来の確定的な平均交通容量を用いた場合に比べて、高い現況再現精度を確保できた。これは、元々渋滞の発生が確率的な事象として捉えた方がより実現象に合致し、そして交通容量が変動することは実際に観測された交通容量の値からも確認できる。従って、交通容量の変動を考慮に入れた渋滞予測手法

は実際の渋滞発生状況を再現できるより合理的な手法と言える。

本論文で提案した交通容量確率分布を用いた渋滞予測手法は、高速道路における適切な対策工の選定と対策工の整備効果検討、より高度な交通管理等様々な面において活用できると考えられる。

今後の課題としては、データ蓄積による顕在化BN交通容量推定式の精度向上、その顕在化BN交通容量推定式の潜在的BNへ適用妥当性検証、潜在的BN交通容量確率分布の推定方法と検証等が考えられる。

参考文献

- 1) 越 正毅：高速道路のボトルネック容量，土木学会論文集，第371号/IV-5，pp1-7，1986.7.
- 2) 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.458/4-18，pp65-71，1993.
- 3) 高橋秀喜，佐藤久長，瀬古賢司，吉川良一：高速道路暫定2車線区間のボトルネック交通容量の推定と4車線化の段階供用における渋滞予測，交通工学，第41巻増刊号，pp85-91，2006.
- 4) 大口敬，片倉正彦，鹿田成則，大谷武彦，高速道路単路部渋滞発生時の交通現象解析，土木計画学研究・講演集，No.21(2)，1998.11.
- 5) Minderhoud, M.M., H. Botma and P.H.L. Bovy, Assessment of Roadway Capacity Estimation Methods, Transportation Research Record No.1572, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1997.
- 6) Lorenz, M. and L. Elefteriadou: A Probabilistic Approach to Defining Freeway Capacity and Breakdown, Proceedings of the 4th International Symposium on Highway Capacity, Transportation, Research Circular E-C018, Transportation Research Board, Washington D.C., 2001.6.
- 7) Brilon, W., J. Geistefeldt and M. Regler: Reliability of Freeway Traffic Flow: A Stochastic Concept of Capacity, Proceedings of the 16th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, 2005.7.
- 8) Jian XING, 佐藤久長，高橋秀喜，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，第26回交通工学研究発表会論文報告集，2006.11.
- 9) 稲野晃，中村英樹，内海泰輔：複数ボトルネックを含む高速道路区間における渋滞現象の確率的解析，高速道路と自動車，第52巻第1号，pp19-29，2009.1.

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*

Jian XING**・宇佐見純二***・福島賢一****・佐藤久長*****

渋滞対策として付加車線等を設置すると、これまで発生していなかった箇所での渋滞発生が予想される。本研究では、ボトルネック交通容量とボトルネック付近の道路構造等との関係から、多車線区間（2車線及び3車線区間）におけるボトルネック交通容量推定式を求め、重相関係数 0.81~0.92 と高い精度を確保できた。また、交通渋滞の発生を確率事象として捉え、渋滞発生時と非渋滞時の交通量データを用いて、顕在化と潜在的ボトルネックの交通容量確率分布を推定し、これを年間の将来渋滞予測に適用した。現況再現性を確認した結果、従来の渋滞予測時に多く用いられる平均的な交通容量の場合に比べて高い現況再現性を確保できた。

Estimation of Latent Bottleneck Capacity of Expressways

and Application of Probabilistic Capacity Model to Whole Year Congestion Prediction*

By Jian XING**・Junji USAMI***・Kenichi FUKUSHIMA****・Hisanaga SATO*****

It is necessary to predict the potential capacity and congestion at latent bottlenecks in order to conduct the cost benefit analysis of the countermeasures against congestion such as the addition of an auxiliary lane. This paper derived the predict relationships between the bottleneck capacity and road traffic environmental indices for 4-lane and 6-lane intercity expressways and found they were of high precision with $R=0.81-0.92$. Then by assuming the occurrence of congestion is a probability event, estimation method of the probabilistic capacity distribution functions of both existing and latent bottlenecks were proposed in the paper and they were also applied to the whole year congestion prediction method. It was found the proposed method with probabilistic capacity distribution gave higher precision prediction result of traffic congestion than the conventional prediction with average or fixed bottleneck capacities.
