

首都高速道路における突発事象発生時の交通状況予測 に関する感度分析

田村勇二^{*1} 割田博^{*2} 稲富貴久^{*1} 船岡直樹^{*1} 佐藤光^{*1} 堀口良太^{*3} 白石智良^{*3} 桑原雅夫^{*4}
パシフィックコンサルタンツ株式会社^{*1} 首都高速道路株式会社^{*2}
株式会社アイ・トランスポート・ラボ^{*3} 東北大学大学院^{*4}

本研究は、首都高速道路を対象に、事故等突発事象が発生した際においても、利用者が実際に経験する交通状況を的確に情報提供するために開発されたリアルタイム予測シミュレーションについて、突発事象対応モジュールの感度分析結果を報告する。具体的には、突発事象発生時の交通状況予測に対応するためのモジュールである「突発的ボトルネック検出」、「車線閉塞時間予測」、「車線規制下の交通容量予測」、「入口交通量変動予測」、「出口転換予測」の感度分析を実施し、各モジュールが予測精度に与える影響について考察した。

Analysis of Traffic Conditions Prediction at the Incident Congestion on Tokyo Metropolitan Expressway

Yuji TAMURA^{*1} Hiroshi WARITA^{*2} Takahisa INATOMI^{*1} Naoki FUNAOKA^{*1} Kou SATOU^{*1}
Ryota HORIGUCHI^{*3} Tomoyoshi SHIRAIISHI^{*3} Masao KUWAHARA^{*4}
Pacific Consultants Co., Ltd.^{*1} Metropolitan Expressway Co., Ltd.^{*2}
i-Transport Lab. Co., Ltd.^{*3} Tohoku University^{*4}

Abstract The traffic control system of the Tokyo Metropolitan Expressway is considering an implementation of the online short-term prediction by the real-time simulation. Some modules for making exact traffic conditions prediction at the incident congestion — “Emergent Bottleneck Detection”, “Lane Blockade Time”, “Road Capacity”, “On-Ramp Traffic Volume Change”, and “Off-Ramp Conversion” — were developed. This research reports the result of having analyzed the influence which those modules have on the predictive simulation.

Keyword: *Dynamic traffic simulation, Traffic conditions prediction, Traffic incident, Real time traffic simulation*

1. はじめに

首都高速道路(以下、首都高)は、路線延長 301.3km、1 日の利用台数約 100 万台の大規模な道路ネットワークであり、首都圏の大動脈としての役割を担って

いる。最近では、首都高ネットワーク整備が進んできており、現在建設中の品川線の完成により、中央環状線の整備が完了する。また、平成 24 年には、均一料金制から利用出入口間の距離に応じた距離別料

金制に移行しており、首都高を利用する利用者にとって、一般道も含め、経路選択はますます多様になってきている¹⁾ (図1)。



図1 首都高速道路ネットワーク(東京線)

このような背景の下、首都高速道路(株)(以下、首都高(株))では、多様な経路選択を支援すべく、道路上やパーキングエリア、ホームページ等において所要時間情報を提供しており、利用者からのニーズが高いサービスの一つとなっている。現在、首都高の道路上では、所要時間情報として、リアルタイムデータを基に、同時刻和で算出した所要時間を提供しており、概ね良好な精度を保っている²⁾。しかし、事故発生時のように、渋滞が急激に延伸・縮小する場合、提供している所要時間と利用者が経験される所要時間に大きな乖離が生じることがある。

この乖離を解消すべく、首都高(株)では、平成17年度からリアルタイム交通状況予測シミュレーション(Real time traffic Information by dynamic Simulation on urban Expressway: 以下、RISE)の開発研究を行ってきた。RISEの概要と事例適用結果については、宗像らの研究³⁾で報告されている。本研究は、RISEの適用事例の拡充を図り、突発事象発生時における精度向上に向けた分析結果を報告するものである。具体的には、突発事象発生時の交通状況予測に対応するためのモジュールである突発事象対応モジュールの感度分析を実施し、各モジュールが予測精度に与える影響について考察した。

2. RISEの概要

RISEの概要について、本研究で対象となる突発事象対応モジュールを詳しく説明し、その他のモジュールについては、簡単な説明に留める(詳細は宗像らの研究³⁾参照)。RISEシステムは大きく5つのモジュールにて構成されている(図2)。

2-1 ベースシミュレーション(以下、ベースSIM)

予測の初期状態を与えるモジュールであり、リンク上の車両の目的地と車種構成比率が出力される。各車両は、交通容量の制約を受けずに、オンラインで

取得した車両感知器速度に従って走行する。また、各入口交通量は、入口に設置された車両感知器の交通量を使用し、OD表で与えたOD比率を拡大・縮小して入力する。経路選択モデルには二項ロジット経路選択モデル⁴⁾を採用している。

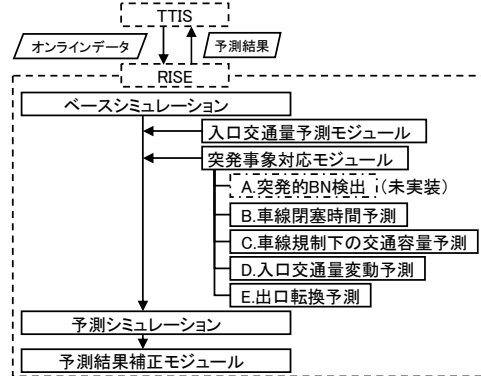


図2 RISEの各モジュールの接続関係

2-2 入口交通量予測モジュール

予測入口交通量は、予測直前の入口交通量と入口交通量基本パターン(入口毎に作成された平均流入交通量パターン)を使用し、自己回帰移動平均モデルにて予測する。

2-3 突発事象対応モジュール

各突発事象対応モジュールについて、ここでは、主に事故を対象とした説明を示す。

A. 突発的ボトルネック(BN)検出⁵⁾

RISEでは、交通管制員の手による事象登録によって突発事象対応モジュールが発動する。本モジュールは、現状のRISEには未実装であるが、より早期な対応の実現に向けて研究が進められている。検出方法は、車両感知器データを使用し、臨界速度を基に渋滞状況を常時監視し、渋滞が確認された場合、当該箇所における直前の時間帯が自由流か渋滞流かによって検出ロジックを分岐しており、時空間的な速度変化、捌け交通量の低下状況、密度状況を加味し、突発的BNを検出する(図3)。

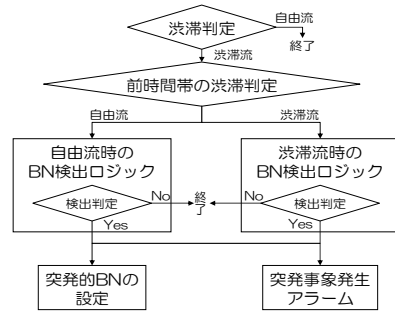


図3 突発的BN検出フロー

B. 車線閉塞時間予測⁶⁾

登録された事故情報から、統計的手法を用いて分

類し、その結果を基に車線閉塞時間を予測する。基本値を中央値の 50 分としており、事故情報（①消防・救急②作業車両③事故台数）の登録に応じた車線閉塞時間が設定される（表 1）。

表 1 事故情報に応じた車線閉塞時間

①消防・救急の出動	出動有									
②処理車両の有無	出動有					出動無				
③事故台数(台)	1	2	3	4	≥5	1	2	3	4	≥5
車線閉塞時間(分)	75	75	80	90	95	70	65	75	80	100
①消防・救急の出動	出動無									
②処理車両の有無	出動有					出動無				
③事故台数(台)	1	2	3	4	≥5	1	2	3	4	≥5
車線閉塞時間(分)	65	70	75	90	90	60	50	60	75	90

C. 車線規制下の交通容量予測

事故登録区間に対して渋滞判定を行い、渋滞が発生している場合は、実捌け交通量をリンク交通容量値とし、渋滞が発生していない場合は、閉塞車線数に応じたリンク交通容量値を設定する（図 4）。

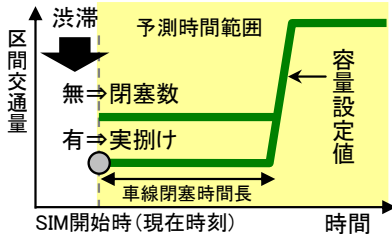


図 4 突発事象時の交通容量設定イメージ

D. 入口交通量変動予測⁷⁾

事故発生箇所と入口交通量変動割合の関係をパターン化した入口交通量変動パターンテーブルを使用する。当テーブルにて、事故影響を受けると特定された入口の交通量が、通常時とは異なる観測値となった場合に、入口交通量基本パターンを予測された車線閉塞時間長だけ減少・増加方向に書き換える（図 5）。

路線・入口名	事故発生範囲	3号渋谷線 上り	3号渋谷線 上り 高樹町 ～谷町JCT
①高樹町			-15%
②渋谷			-21%
③三軒茶屋			-24%
④東名道			-8%
都心環状線 外回り	⑤霞が関		+14%
4号新宿線 上り	⑥中央道		+3%
5号池袋線 上り	⑦護国寺		+4%

図 5 入口交通量変動パターンテーブル例

E. 出口転換予測

事故発生箇所と出口転換範囲をパターン化した出口転換パターンテーブルを使用する。当テーブルにて事故影響を受けると特定された出口の交通量が、通常時とは異なる観測値となった場合に、発生交通の目的地 D を書き換える（図 6）。

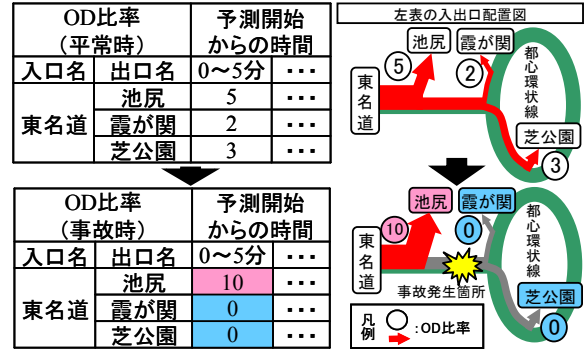


図 6 出口転換パターンテーブル適用例

2-4 予測シミュレーション（以下、予測 SIM）

予測 SIM のコアエンジンには「広域道路網交通流シミュレーションモデル SOUND/A-21⁸⁾」を利用しており、フローモデルはこれと同一である。ベース SIM が生成した現在時刻におけるネットワーク上の車両位置を初期状態として設定し、2 時間先までの交通状況を予測する。経路選択モデルはベース SIM と同一である。

2-5 予測結果補正モジュール

RISE の予測結果（予測区間所要時間）と最新の観測値データを比較し、乖離量を補正する。

3. 予測シミュレーションの実施

経路選択モデルパラメータや Q-K 関係の調整を行い、平常時と事故時の予測を実施した。評価対象は 3 号渋谷線（東名道～谷町 JCT）とした。

3-1 評価方法

予測開始から 1 時間後までの 5 分毎の出発時間別の所要時間について、真の所要時間 ± 5 分、± 10 分以内の的中率を評価する。ここで、真の所要時間とは、車両感知器速度からタイムスライスで算出した所要時間を指す。また、予測開始から 30 分後、60 分後及び全時間帯的中率を評価する（図 7）。

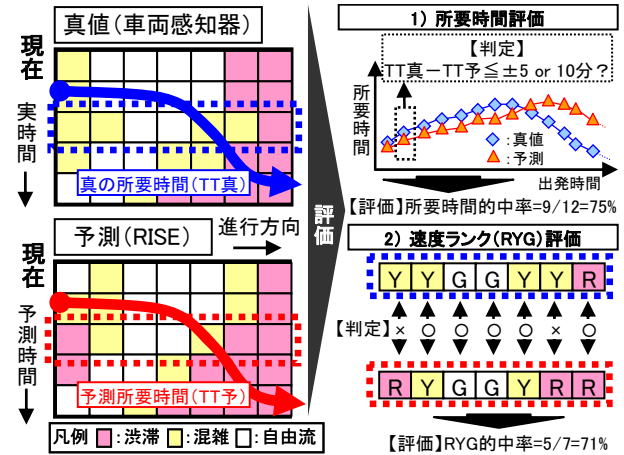


図 7 所要時間及び RYG の評価イメージ

3-2 平常時の予測結果

3月下旬平日の朝ピーク時を対象に予測を実施した。予測結果について、速度ランク図を図8に、所要時間及びRYG評価結果を図9に示す。RYG的中率は70%程度だが、これは実測値との乖離の程度を問わず、三分類した速度域と機械的に整合を確認したことによる。一方、所要時間の中率は真値±5分でも100%であり、良好な結果といえる。

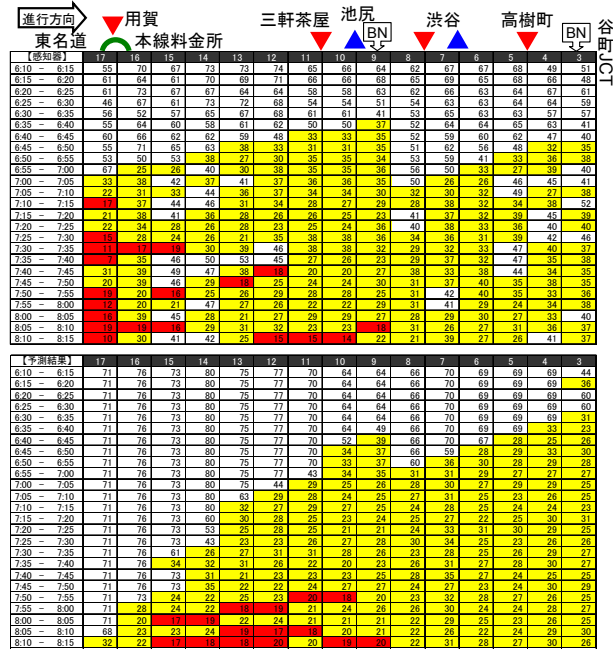


図8 平常時の予測結果 (上: 真値 下: 予測結果)

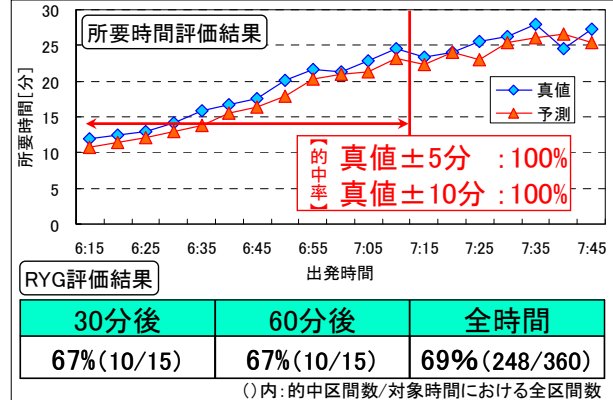


図9 所要時間及びRYG評価結果 (平常時)

3-3 事故時の予測結果

3号渋谷線上で発生した事故事例を対象に予測を実施した。事故の詳細を表3に示し、突発事象対応モジュールの対応を表4に示す。

事故発生直後に開始した予測結果について、速度ランク図を図10に、所要時間及びRYG評価結果を図11に示す。速度ランク図からは、事故渋滞の延伸状況が良好に再現されているように見えるが、評価

結果としては、平常時よりやや低い精度となっている。しかし、真値±10分を閾値とした所要時間の中率は83%となっており、事故といった突発事象発生時における所要時間精度への許容誤差⁹⁾を考慮すると、事故時における予測についても、良好な結果と考えられる。

表3 事故事例の詳細

事故情報			
事故日	平日(火)	天候	雨
管制受理時刻	6:52	処理終了時刻	8:03
区間	4		
入口閉鎖	なし	車線閉塞時間	71分
車線閉塞数	一車線		
救急・消防	出動有り	作業車両	出動無し
事故台数	2台		

表4 突発事象対応モジュールの対応結果

突発事象対応モジュールの対応 (6:55予測開始時点)	
車線閉塞時間予測	50分(予測開始時点で事故情報登録無し)
事故箇所交通容量	900台/時/車線
入口交通量変動対応	高樹町: -15% 渋谷: -21% 三軒茶屋: -24% 東名道: -8% 震が関: +14% 中央道: +3% 護国寺: +4%
出口転換対応	東名道から震が関、芝公園のOD比率を全て池尻に転換

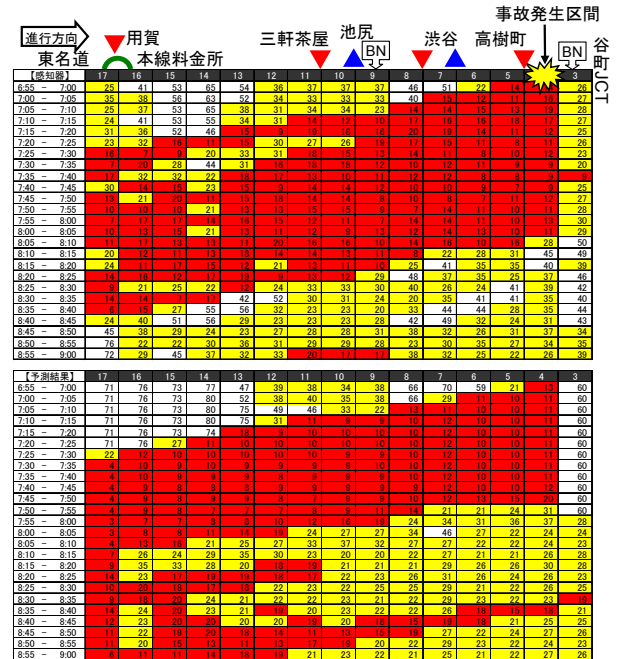


図10 事故時の予測結果 (上: 真値 下: 予測結果)

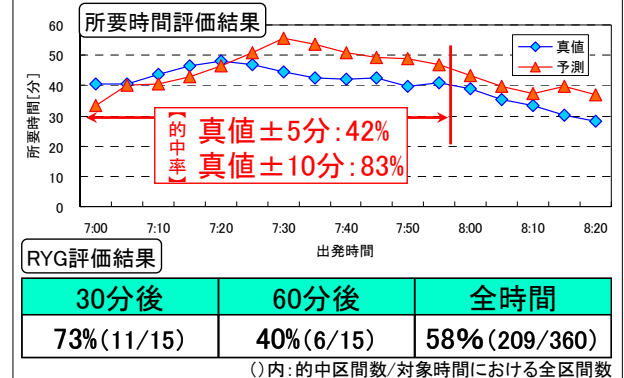


図11 所要時間及びRYG評価結果 (事故時)

4. 突発事象対応モジュールの感度分析

平常時、事故時共に、良好な予測結果が示された。ここで、RISEに求められるのは、特に突発事象発生時における高い予測精度であることから、更なる予測精度向上に寄与する要素を抽出すべく、突発事象対応モジュールの感度分析を実施した。

4-1 感度分析の実施内容

先に示した3号渋谷線上で発生した事故事例を対象に感度分析を実施した。分析は、各突発事象対応モジュールで予測された各々の設定値を真値と考えられる設定値に置換え、予測SIMを実施し、所要時間及びRYGの的中率を評価することで、精度向上に寄与する要素を抽出する手法とした。分析ケースについて表5に示す。なお、突発的BN検出については、当事例は遅れ時間無く登録されているため、仮に登録が遅れたら（即ち、突発事象対応モジュールが発動しない）という条件下で分析した。

表5 感度分析ケース

No.	ケース名	ケース説明（※入力する真値）
1	基本ケース	現状の対応（入力値は表4を参照）
2	突発的BN検出（登録遅れ）	登録遅れを仮定し、全突発事象対応モジュールの動作を停止
3	車線閉塞時間	閉塞時間に真値である70分を入力
4	交通容量	車両センサーで観測された5分毎の実捌け台数を容量として入力
5	入口交通量変動	入口に設置された車両センサーで計測された実台数を入力
6	出口転換	当日のETC-OD表から作成したOD表を入力
7	全真値	上記、No. 3~6 全ての真値を入力

4-2 感度分析実施結果

感度分析結果について、速度ランク図を図12に、所要時間的中率を図13に、RYG的中率を図14に示す。まず、突発的BN検出については、速度ランク図を見れば一目瞭然であるが、予測精度の低下が著しく、RISEにおける突発事象対応モジュールの重要性が伺える。次に、理想的なケースである全真値のケースにおいては、いずれの指標についても概ね精度が向上するものの、全てが100%の的中率には至っておらず、突発事象対応モジュール以外の要素（Q-K関係等）について、精度向上の必要性が伺える。

各指標の結果を見ると、まず、所要時間的中率については、出口転換のケースにおいて、真値±5分、±10分の閾値いずれについても精度が向上している（図13黄色ハッチング箇所）。入口交通量変動のケースでは、閾値が±10分では精度が向上しているが、±5分では精度が低下している（図13橙色ハッチング箇所）。その他のケースについては、真値を入力することで精度が低下している。次に、RYG的中率については、車線閉塞時間のケースで精度向上が

見られる（図14黄色ハッチング箇所）。その他のケースについては、若干の精度低下が見られるものの、基本ケースと同程度の結果となっている。

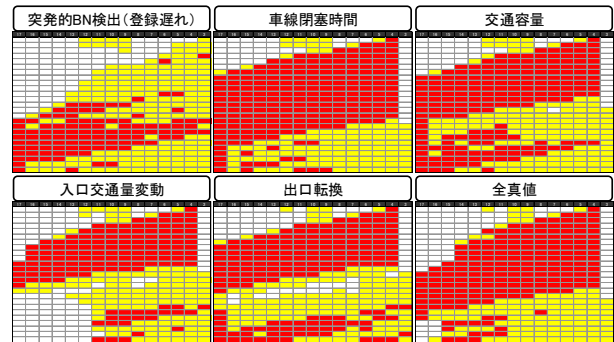


図12 感度分析結果（速度ランク図）

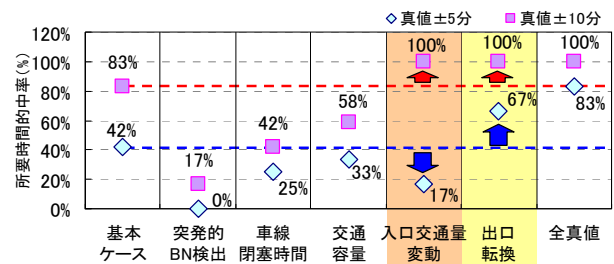


図13 感度分析結果（所要時間の中率）

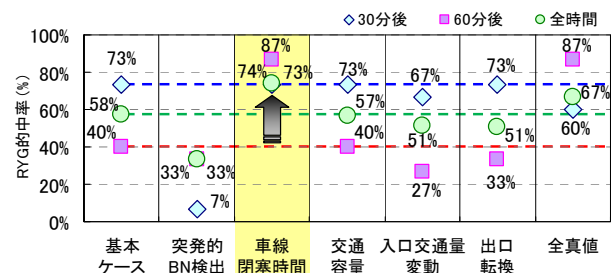


図14 感度分析結果（RYGの中率）

4-3 感度分析結果に対する考察

感度分析結果における精度向上及び低下要因について分析した。ただし、突発的BN検出については、質が異なるモジュールのため、対象外とした。

予測SIMから出力される予測速度の精度は、各リンクに設定されたQ-K関係と、リンクの存在台数（密度）に依存する。そこで、まず所要時間評価結果の分析に当り、需要と容量の差から算出される存在台数増加量に着目した分析を実施した。図15に各ケースにおける存在台数増加量の集計結果を示す。所要時間精度が向上したケースでは、存在台数増加量が基本ケースよりも真値に近づいている（図15黄色ハッチング箇所）。逆に、例えば車線閉塞時間のケースについて言えば、需要は基本ケースと同一であり、真値よりも過大であるが、閉塞時間長を真値に合わせて長くしたため、評価対象時間における捌け量が

減少して需要と容量のバランスが基本ケース以上に崩れ、所要時間精度が低下したと考えられる（図 15 左側の累加交通量図）。また、入口交通量変動のケースについて、閾値が±5 分で精度低下した理由として、存在台数増加量は真値に近くなっているが、マイナスとなっている。結果、渋滞・混雑の発生が基本ケースよりも過小となり（図 12）、それに伴い、平均速度が上がっている結果となっている（表 6 桃色ハッチング箇所）。表 6 では、平均速度から真値に対する所要時間誤差を試算しており、当ケースでは、事例対象路線換算で-8 分となっていることから、±10 分の閾値では的中したが、±5 分では外れる結果となったと考えられる。

次に、RYG 評価結果について、図 16 に予測及び真の車線閉塞時間に着目した RYG 評価結果を示す。当事例では、真値よりも短い車線閉塞時間が設定されていたが、図より、予測車線閉塞時間終了までは、各ケースとも同等の精度となっている。しかし、予測と真の車線閉塞時間に誤差が生じる時間帯で大きな精度の差が見られる（図 16 赤矢印）。これより、RYG 精度については、車線閉塞時間の精度が大きく関係するものと考えられる。

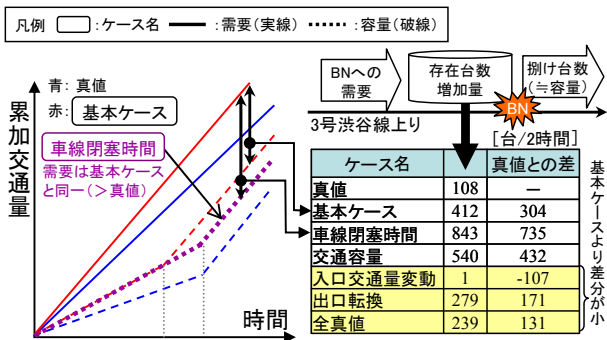


図 15 基本ケース及び車線閉塞時間のケースにおける需要と容量の関係と各ケースの存在台数増加量

表 6 平均速度と所要時間誤差の試算結果

ケース名	平均速度 (km/h)※	真値に対する所要時間誤差(分)	
		区間当り	事例対象路線換算(15区間)
真値	12.9		
基本ケース	12.0	+0.3	+4
車線閉塞時間	10.1	+1.0	+16
交通容量	10.9	+0.7	+10
入口交通量変動	15.2	-0.5	-8
出口転換	13.5	-0.1	-2
全真値	13.0	0.0	0

※予測開始から1時間までの真値が20km/h以下の区間を対象に算出

5. おわりに

本研究では、RISE の適用事例の拡充を図り、突発事象発生時の更なる予測精度向上に向け、突発事象対応モジュールの感度分析を実施した。成果として得た知見を以下に示す。

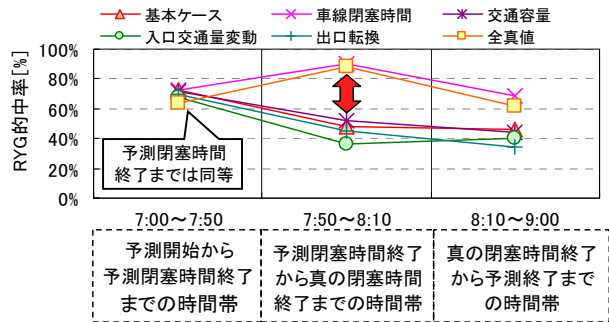


図 16 車線閉塞時間に着目した RYG 評価結果

- ・事例適用結果より、平常時、事故時共に良好な予測精度が確認された。
- ・感度分析より、所要時間精度向上には、需要と容量のバランスを取ることが肝要であるため、全ての突発事象対応モジュールの精度が影響する。一方、RYG 精度向上には、車線閉塞時間予測の精度が最も影響する。
- ・以上より、精度向上を狙うべき要素は、提供する指標（即ち、RISE の活用方法）に応じて異なると考えられる。

本研究で得られた知見は、特定の事例に対して得られた知見であるため、一般性を示すには至っていない。今後は、評価事例の拡充を図ると共に、経路選択モデルや Q-K 関係等、RISE の根幹を担う要素についても継続的に研究開発を遂行し、更なる予測精度の向上を目指す所存である。

6. 謝辞

RISE の開発を進めるに当たり、ご指導頂いた千葉工業大学の赤羽教授、愛媛大学の吉井教授、首都大学東京の小根山教授、横浜国立大学の田中准教授はじめ、関係各位にこの場を借りて感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 首都高速道路株式会社 HP ; <http://www.shutoko.jp/>
- 2) Warita,H.,Okada,T.&Tanaka,A.;Evaluation Operation for Travel Time Information on the Metropolitan Expressway: ITS Sydney, 2001
- 3) 宗像恵子,割田博,田村勇二,白石智良:「首都高速道路におけるリアルタイム予測シミュレーションの開発」,第 29 回交通工学研究発表会, pp.293-296, 2009
- 4) 中村毅一郎,森田輝之,吉井稔雄,小根山裕之,島崎雅博;「都市内高速道路シミュレーションモデル (TRANDMEX) の適用について」,交通工学,vol.3(2),pp9-, 2004
- 5) 船岡直樹,割田博,桑原雅夫,佐藤光:「首都高速道路における突発的ボトルネック判定手法構築に関する研究」,第 29 回交通工学研究発表会, pp.301-304, 2009
- 6) 稲富貴久,割田博,桑原雅夫,佐藤光:「首都高速道路における事故時車線閉塞時間予測に関する研究」,第 29 回交通工学研究発表会, pp.297-300, 2009
- 7) 田村勇二,割田博,桑原雅夫,佐藤光,岡田知朗:「首都高速道路における流入制御時の入口転換行動分析」,土木計画学研究・講演集, Vol.37, 2008
- 8) 株式会社アイ・トランスポート・ラボ HP ; <http://www.i-transportlab.jp/products/sound/index.html/>
- 9) 割田博, Edward Chung, 竹平誠治, 山田純司;「所要時間情報提供に関する利用者評価調査」, ITS シンポジウム 2004,pp.107-112,2004