

首都高速道路におけるオンライン予測 シミュレーションの精度向上に関する一考察

田村 勇二¹・割田 博²・小山 周一³・白石 智良⁴・桑原 雅夫⁵

¹非会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 交通政策部（〒163-6018 東京都新宿区西新宿6-8-1）

E-mail: yuuji.tamura@ss.pacific.co.jp

²正会員 ³非会員 首都高速道路株式会社 保全・交通部（〒100-8930 東京都千代田区霞が関1-4-1）

E-mail: {h.warita1116 | s.koyama76}@shutoko.jp

⁴正会員 株式会社アイ・トランスポート・ラボ（〒101-0051 東京都千代田区神田神保町1-4）

E-mail: shiraishi@i-transportlab.jp

⁵正会員 東北大学大学院情報科学研究科教授（〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-3-09）

E-mail: kuwahara@plan.civil.tohoku.ac.jp

首都高速道路は複雑な道路ネットワークで構成され、多発する突発事象による急激な交通状況変化や距離別料金への移行等、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。これまで、首都高速道路株式会社では、渋滞解消やサービス向上を目指し、突発事象発生時も含め、高精度に交通状況を予測する交通シミュレーションを研究開発してきた。しかし、24時間365日での実運用化を想定すると、常時の精度確保が課題となっている。そこで、精度向上の一手段として、経路選択モデルと交通容量に時間帯別パラメータの実装を試みた。

本稿は、新規パラメータの実装経緯及び調整方法を説明し、オンライン予測シミュレーションの精度向上を報告すると共に、今後の課題と検討の方向性について考察したものである。

Key Words : Dynamic traffic simulation, Traffic conditions prediction, bottleneck capacity, route choice

1. はじめに

首都高速道路（以下、首都高）は、路線延長約300km、1日の利用台数が約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道路網である（図-1）。近年、道路ネットワーク拡充により渋滞は減少傾向にあるが、時間的な交通集中や、多発している事故（30件/日以上）等の突発事象により、渋滞問題の解消には至っていない。また、2012年には、地域毎の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、首都高の利用者にとって、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。

このような背景の下、首都高では、渋滞の解消や利用者へのサービスレベル向上を目指し、様々な情報を提供している。例えば、道路上やパーキングエリア、ホームページ等における所要時間情報もその一つであり、利用者からのニーズが高いコンテンツの一つとなっている。現在、首都高上では、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¹⁾。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



図-1 首都高速道路ネットワーク

している所要時間と利用者が経験する所要時間に大きな乖離が生じることがある。この乖離を解消するには、将

来の交通状況を予測することが一つの解決策となる。

首都高では、2005年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ており、2009年には交通管制システム（TTIS）と接続され、試験的な稼動を継続している。

本研究は、RISEの精度向上の一手段として、経路選択と交通容量に時間帯別パラメータの実装及び調整を試みた結果を報告し、更に、Q-K関係に関する分析結果を踏まえ、今後の将来展開について考察したものである。

2. RISEの概要

RISEは現在から2時間先までの将来交通状況を5分周期で予測するシステムであり、大別して4つの機能で構成されている。各モジュールの接続関係を図-2に示す。

ここでは、RISEの概要について、本論で対象となるベースシミュレーション及び予測シミュレーションについて詳しく説明し、その他のモジュールについては、簡単な説明に留める（詳細は既往の研究を参照^{2) 3)}）。

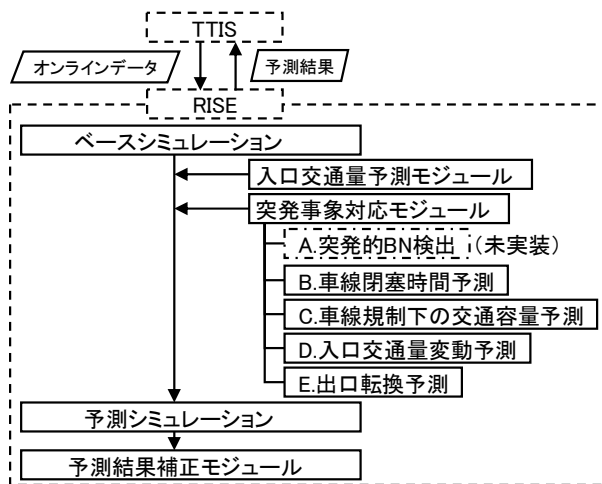


図-2 RISEの各モジュールの接続関係

(1) ベースシミュレーション（以下、ベースSIM）

ベース SIM は、予測の初期状態を与えるためのモジュールであり、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、車種と目的地を属性として持ち、各リンクの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、ETC-OD データから作成された OD 表を拡大・縮小して入力する。経路選択モデルには、首都高での適用実績が多い TRANDMEX⁴⁾ の二項ロジット経路選択モデルを採用している。ベースシミュレーションの動作イメージを図-3に示す。

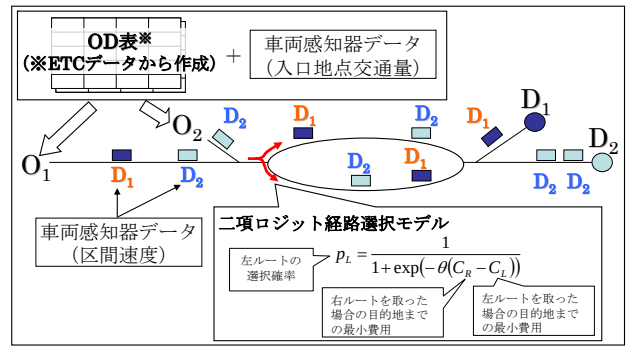


図-3 ベースシミュレーションの動作イメージ

ここで、各ルートのリンク費用は、経路固定層と経路選択層にわけられ、式-1 及び式-2 にて算出される。また、リンク費用関数には、時間帯別の速度変動を考慮した信頼性指標パラメータや、JCT 係数を実装している。

信頼性指標パラメータとは、ネットワークの信頼性分析で指標として使われる Buffered Index のアイデアを借り、時間帯別の速度変動域 R5（50%ile 速度と 5%ile 速度の差）を変数にとったパラメータであり、JCT 係数とは、所要時間のみでは説明困難なバイアス（走り易さ等）に対応すべく実装し、補正コストとして JCT 部の渡り線（合流側、52 区間）に設定している。

経路固定層：

$$c(t) = \frac{3.6L}{v50} + a_1 \left\{ \frac{3.6L}{(v50 - R5)} - \frac{3.6L}{v50} \right\} + \frac{60F}{E} \quad (\text{式-1})$$

経路選択層：

$$c(t) = T(t) + a_2 \left\{ \frac{3.6L}{(v50 - R5)} - \frac{3.6L}{v50} \right\} + \frac{60F}{E} + JCTCoef \quad (\text{式-2})$$

ここで、
 $c(t)$ ：時刻 t でのリンク費用
 $T(t)$ ：時刻 t でのリンク旅行時間（秒）
 L ：リンク長（m）
 $v50$ ：時刻帯別リンク 50% タイル速度(km/h)
 $R5$ ：時間帯別リンク速度変動域(km/h)
 F ：通行料金(円)
 E ：時間価値(円/分)
 a_1, a_2 ：信頼性指標パラメータ
 $JCTCoef$ ：JCT 係数（秒）

(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ン（入口毎に作成された平均流入交通量パタン）を使用し、自己回帰移動平均モデルにて予測する。モデル式を式-3に示す。

$$x(0) = a_1 x(-1) + a_2 x(-2) + \dots + a_m x(-m) \quad (\text{式-3})$$

ここで、
 $x(0)$ ：推定値
 $x(-1) \dots x(-m)$ ：1～m期前の観測値
 $a_1 \dots a_m$ ：自己回帰係数
 m ：自己回帰モデルの次数

(3) 突発事象対応モジュール

RISE には、突発事象への対応として、RISE へのインプットデータに対し、以下に示す 4 つの対応モジュールを実装している。

a) 車線閉塞時間予測

事故時に TTIS に登録される事故情報から、統計的手法を用いて車線閉塞時間を分類しており、その結果を基に車線閉塞時間を予測する。予測に用いる登録情報は①消防・救急の出動有無②事故台数③作業車両の出動有無である。詳細は稲富らの研究⁵⁾による。

b) 交通容量予測

事故登録区間の上流地点に対して渋滞判定を行い、事故渋滞が発生している場合は、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。

c) 入口交通量変動対応

事故発生箇所と入口交通量変動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作成している。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車線閉塞時間長だけ減少・増加方向に書き換える。詳細は筆者らの研究⁶⁾による。

d) 出口転換対応

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作成している。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。

(4) 予測シミュレーション（以下、予測 SIM）

予測シミュレーション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-21⁷⁾」を利用しており、フローモデルはこれと同一である。リンク上の走行車両を容量制約付の待ち行列で扱うメソスコピックモデルであり、三角形近似された Q-K 関係に従い、Kinematic Wave 理論に基づき、渋滞延伸・解消のショックウェーブ伝播を再現する。

RISE で用いている Q-K 関係を図-4 に、フローモデルの概念図を図-5 に示す。Q-K 関係は、ボトルネック（以下、BN）以外は三角形近似（図中、実線）で表され、BN 部では下流端流出容量を絞った型で表される（図中、点線）。なお、BN 区間については、一定期間の 5 分間区間速度データを使用し、上下流区間の速度差をポイント化することで、BN 候補箇所を抽出し、更に抽出された BN 候補箇所周囲の Q-V 図を描き、RISE で設定する BN 区間を特定している。この方法により特定した BN 区間は 33 区間である。

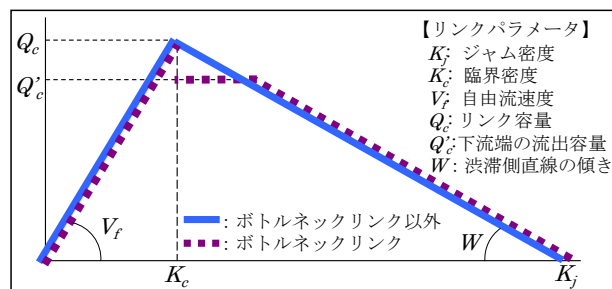


図-4 RISE で用いる Q-K 関係

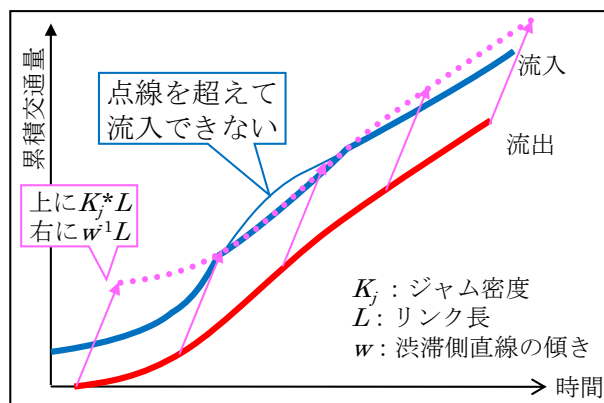


図-5 RISE のフローモデル概念図
(Kinematic Wave 理論)

(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. パラメータの改良

(1) 時間帯別 JCT 係数の実装

a) 実装に至った経緯

まず、これまでの RISE の経路選択モデル（2.(1)参照）に関する検討内容及び時間帯別 JCT 係数の実装に至った経緯を説明する。RISE 開発当初、所要時間のみでは、ベース SIM による現況再現性（目標精度：日交通量%RMSE で 15%以下）の確保が困難であった。そこで、信頼性指標パラメータを実装するも、目標精度には至らなかったため、走り易さ等経路選択のバイアスを表現するものとして、JCT 係数と称するコストを実装することで、目標精度の達成に至った。しかしながら、時間帯別の交通量%RMSE には、目標精度以下となる時間帯が見られ、更なる精度向上への検討の余地があると考え、時間帯別 JCT 係数の実装に至った。

ここで、RISE における経路選択モデルパラメータの調整について説明する。RISE では、ベース SIM を使用して経路選択モデルパラメータを調整している。これは、RISE のベース SIM が、車両感知器で観測された実際の流入交通量と区間速度で実行されているためである。

(2.(1) 参照) . 即ち、ベース SIM の精度は、OD 表と経路選択の再現性に依存するものであり、OD 表は、ETC-OD データから生成している（首都高での ETC 利用率は 90%以上）ことから、経路選択モデルのみに特化した調整が可能となっている。

b) JCT 係数の調整方法

JCT 係数の調整は、以下、手法 A を実施し、次いで、手法 B を実施した。ここで、2 通りの手法を併用しているのは、調整時間の短縮が目的である。本来であれば、交通工学的な知見に基づいた観測値からの JCT 係数設定が望ましいが、走り易さ等の経路選択バイアスに関する知見が十分でないため、本論では機械的な調整方法を採用している。

【手法 A】：JCT 係数の影響度をモデル化した調整方法

- ① 任意の代表日を対象に、JCT 係数を設定しないベース SIM を実施し、基本ケースとする。
- ② 各 JCT 係数個別に 0~900 秒の範囲で 60 秒間隔の値を設定し、全分流リンクに対する交通量増減割合を多項式でモデル化する（各 JCT 係数について、分流交通量への影響をモデル化。ただし日単位。）（図-6）。
- ③ ①の基本ケースにおける誤差が大きい分流交通量を対象に、誤差が最小となる様、②のモデル式を使用し、最適な JCT 係数値の組合せを線形計画法にて求める（時間帯別で実施）（図-7）。
- ④ 求められた最適な JCT 係数を設定したベース SIM を実施し、対象時間帯の交通量%RMSE が目標精度以上となれば、次の時間帯の調整に移行し、目標精度未満であれば③に戻り、再度最適な JCT 係数を算出する。（以降、③④の繰り返し）

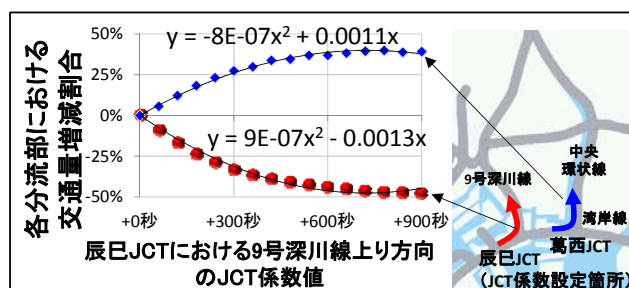


図-6 JCT 係数による影響のモデル化例（辰巳 JCT）

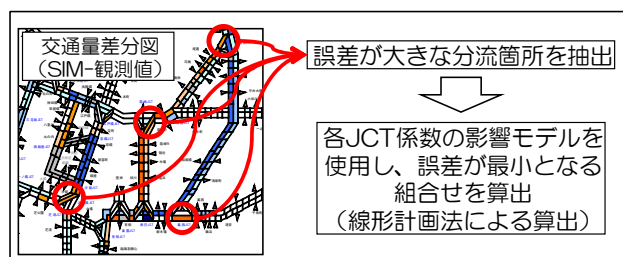


図-7 JCT 係数の影響モデルを使用した最適解の算出

し。ただし、精度の変化が 0.1%以下となった場合は、目標精度以下でも次の時間帯に移行。）

【手法 B】：繰返し調整方法

- ① 任意に選定した代表日を対象に、任意の 1 箇所の JCT 係数について、0~900 秒の範囲で 60 秒間隔の値を設定し、ベース SIM を実施する。
- ② 交通量%RMSE が最小となる JCT 係数を採用し、次の JCT 係数の調整に移行する（以降、①、②を全 JCT 係数に対して繰り返す）。

(2) 時間帯別 BN 容量の実装

a) 実装に至った経緯

RISE では、車両感知器による観測値から Q-K 関係をフィッティングし、予測 SIM に実装している。Q-K 関係のフィッティング手法については、実務向きと考えられる簡易的な調整方法を考案しており、複数のフィッティングパラメータを用いた Q-K 関係を作成し、予測 SIM の精度が最良となる組合せを選定する等の調整を実施してきている。しかしながら、目標とする予測精度が十分に得られず、課題となっていた。

BN 容量は、既往の研究成果において、時間帯や曜日、天候等によって変動することが示されている⁸⁾。そこで、更なる予測精度の向上を目的に、既往の知見を取り込むべく、時間帯別の BN 容量の実装を試みた。

b) 設定方法

既往の研究を参考に、BN 箇所が臨界状態となり、Capacity Ball (Q-V 図における臨界状態の分布域。詳細は参考文献 8 を参照) が出現している時の交通状況のみを抽出し、曜日別・時間帯別による分類を実施した。使用したデータは 2010 年 4 月~2011 年 3 月における 1 年間の車両感知器 15 分データを使用した。

なお、Capacity Ball の抽出時における異常値除去として、交通量が 2,000 台/時未満、臨界速度±15 km/h から外れるデータは除去している。また、時間帯別ボトルネック容量について、統計的検定 (t 検定) を実施し、時間帯別で設定する妥当性を検証している (表-1)。

表-1 時間帯別 BN 容量の検定結果 (有意水準 : 5%)
(都心環状線 (内) 芝公園入口下流 BN 箇所)

	7時	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時
7時		○												
8時			○											
9時				○										
10時					○									
11時						○								
12時							○							
13時								○						
14時									○					
15時										○				
16時											○			
17時												○		
18時													○	
19時														○
20時														

4. パラメータの改良による精度評価結果

(1) 精度評価方法

a) ベースシミュレーションの精度評価方法

首都高全線の平均区間交通量に対する平均誤差割合(%RMSE)で評価する(式4)。

$$\%RMSE = \frac{\sqrt{(\sum (Pi - Ai)^2) / N}}{\bar{A}} \times 100 \quad (\text{式4})$$

ここで、
 $\bar{A}$: 観測区間交通量、観測区間交通量の平均値
 P_i : ベースシミュレーションの区間交通量
 N : 区間数

b) 予測シミュレーションの精度評価方法

予測 SIM については、所要時間及び速度ランク(RYG : 区間速度を赤 20km/h 以下, 黄 20~40km/h, 緑 40km/h への 3 区分で表現)にて評価する。

まず、所要時間については、7~20 時台の 10 分毎の予測開始時刻を対象に、現在時刻を出発時刻とした路線単位の予測所要時間をタイムスライスで算出する。同手法で車両感知器速度から算出した所要時間を真の所要時間とし、誤差が±5 分以内であれば的中とする(図-7)。的中数を全数で除し、的中率を算出する。なお、非渋滞時は、評価対象外とする。次に、RYG については、所要時間と同様の時間範囲の予測開始時刻を対象に、現在時刻から 30 分後、60 分後の真の路線 RYG (車両感知器速度より算出) が変化している場合を評価対象とし、将来時刻の RYG が的中している区間数を全区間数で除することで、的中率を算出する(図-8)。

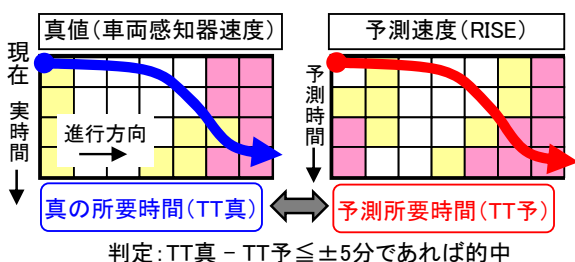


図-7 所要時間の評価イメージ

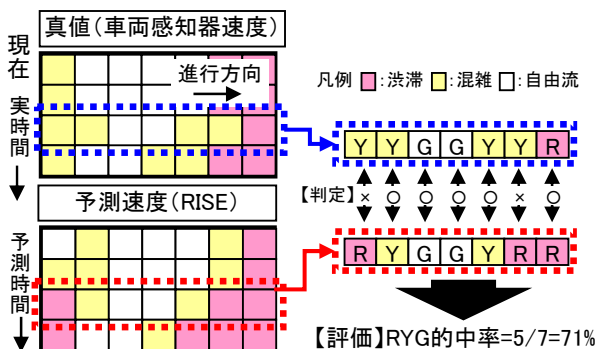


図-8 RYGの評価イメージ

(2) 精度評価結果

a) ベースシミュレーション精度

時間帯別 JCT 係数を実装したベース SIM の精度評価を実施した。

まず、パラメータ調整を実施した代表日(2012年6月28日(木))における時間帯別交通量%RMSEの結果を図-9に示す。時間帯別 JCT 係数を実装することで、全時間帯の精度向上が確認され、これまでの日単位での JCT 係数では調整が困難であったピーク時間帯等(例えば11時台)での精度向上が見られる。

次に、代表日以外における精度評価結果を図-10に示す(2012年6月の平日)。代表日以外でも概ね目標精度としている日交通量%RMSE15%程度となっており、実装したパラメータの適用性があることが示された。

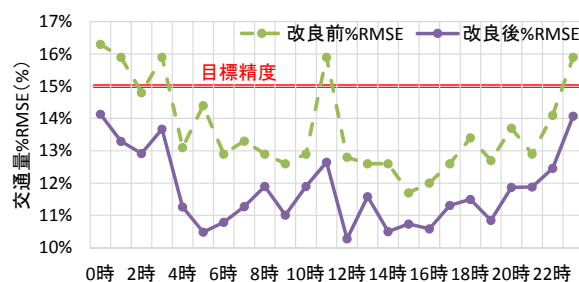


図-9 時間帯別の評価結果（平日代表日）

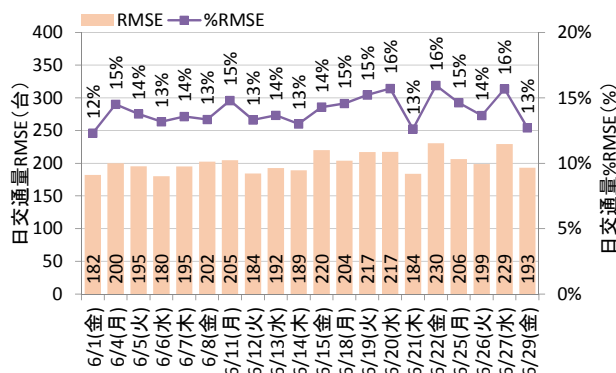


図-10 代表日以外における評価結果（平日、2012/6）

b) 予測シミュレーション精度

時間帯別 JCT 係数及び時間帯別 BN 容量を実装した予測 SIM の精度評価を実施した。評価ケースを表-2に示す。評価対象期間は、2012年6月25日(月)~6月29日(金)の平日1週間とした。

まず、各評価指標に対する各ケースの精度評価結果(日単位での的中率)を表-3に示す。本論で示したパラメータ改良が未実装である Case1 と比較し、Case2, Case3 共に精度向上が確認された。特に、Case3 における精度向上が比較的高く、時間帯別 JCT 係数実装による精度向上効果が伺える。

表-2 予測シミュレーションの評価ケース一覧

	時間帯別JCT係数の実装	時間帯別BN容量の実装
Case1	×	×
Case2	×	○
Case3	○	○

表-3 パラメータ改良による予測精度評価結果一覧

評価指標	ケース	的中率(日単位)
所要時間	Case1	67%
	Case2	67%
	Case3	74%
RYG(30分後)	Case1	73%
	Case2	74%
	Case3	82%
RYG(60分後)	Case1	70%
	Case2	71%
	Case3	80%

次に、所要時間評価結果について、時間帯別の所要時間的中率を図-11に示す。時間帯別 BN 容量の実装ケース (Case2) では、パラメータ改良未実装の Case1 と比較し、1~5%程度の精度向上が見られる。それ以上に精度向上が見られるのが時間帯別 JCT 係数の実装ケース (Case3) であり、朝夕ピーク時間帯に大幅な精度向上が見られる。

次に、RYG の時間帯別の評価結果について、現在時刻から 30 分後の結果を図-12に示し、60 分後の結果を図-13に示す。所要時間と同様に、Case2 よりも Case3 の精度向上が顕著であり、RYG についてはほぼ全時間帯での精度向上が見られる。

5. おわりに ~今後の課題と方向性~

(1) 予測所要時間精度向上に関する課題

パラメータ改良による精度評価結果より、時間帯別 JCT 係数による大幅な精度向上成果が示された。これは、経路選択という交通需要予測の改良による効果が高いことを示している。しかしながら、予測精度は交通需要と交通容量の両方の精度に依存するものである。本論の結果は、これまでの精度向上の積み重ねが反映されており、時間帯別 JCT 係数の実装のみが予測精度を確保するものではなく、交通容量の検討、即ち Q-K 関係についても今後の継続的な研究が必要である。

そこで、冒頭に述べた RISE の活用方法である、予測所要時間の今後の精度向上について検討すべく、Q-K 関係に関する分析を実施した。

Q-K 関係には、時間や曜日による変動幅があることが確認されている。そこで、車両感知器による観測データの変動幅について、区間毎に観測されたデータと、現状

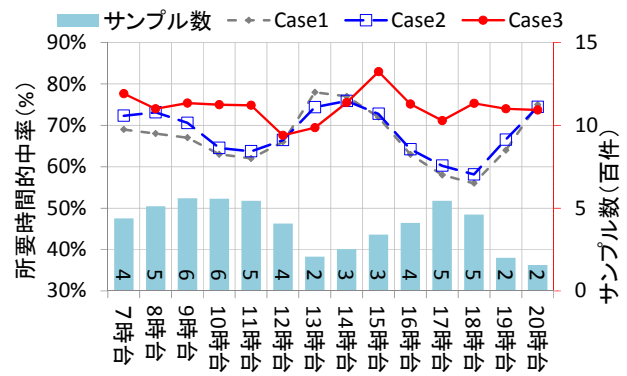


図-11 所要時間的中率 (平日, 平常時)

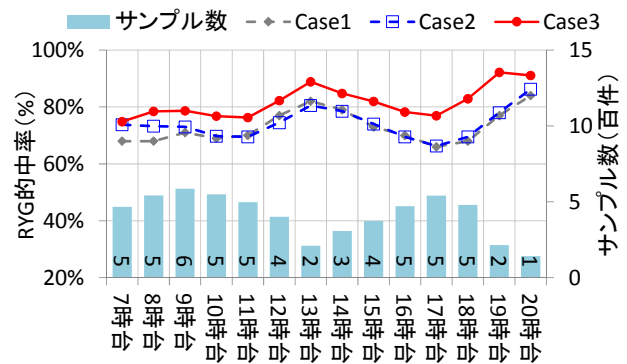


図-12 RYG 的中率 (平日, 平常時, 30 分後)

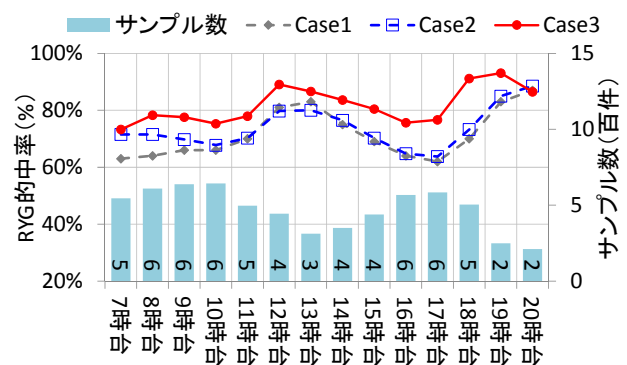


図-13 RYG 的中率 (平日, 平常時, 60 分後)

の RISE で設定している QK パタンとの乖離について分析した。即ち、本分析は、現状の RISE における予測所要時間精度の限界を試算するものである。

a) Q-K 関係と予測所要時間精度に関する分析手順

- ① 区間毎に設定している Q-K 関係と、観測されたデータの区間所要時間を比較し、所要時間差が ± 7.5 秒以内となるデータ割合を時間帯別に算出する (図-14)。ここで、 ± 7.5 秒とは、首都高の平均トリップ長、平均区間長の関係より、車両感知器速度から算出される真の所要時間 ± 5 分以内の精度を確保する際に、1 区間当たり許容される平均誤差量を示している。
- ② 区間毎に①で算出した割合から路線平均値を算出し、更に首都高全線での平均値を時間帯別で

算出する。ただし、RISEの所要時間精度評価では、渋滞・混雑区間を含む路線のみを対象としているため、路線平均値から全線平均値を算出する際に、路線（時間帯）におけるデータが全て自由流（RISEに設定されているQ-K関係における臨界密度Kc以下）の場合は除外する。

b) 算出結果及び考察

上記に則り算出した結果を図-15に示す。朝夕ピーク時間帯の割合が低いのは、渋滞下におけるQ-K関係の変動が大きいことを示唆しているものと考えられる。

本算出結果と予測所要時間精度（図-11）を比較すると、Q-K関係の所要時間差が7.5秒以内となる時間帯別の割合と所要時間精度の傾向が同様となっている。即ち、現状以上の予測所要時間精度を得るには、観測データの変動幅に、RISEのQ-K関係を動的に対応させる必要があり、解決には長期的な時間を要する課題であると考えられる。

(2) 今後の方向性

RISEは長年に渡り開発を進めてきているが、実運用化には至っていない。これは、実運用に十分な予測所要時間精度の確保とその安定性の他、交通管制システムとしてメンテナンスの容易性が要求されるためである。

両者を解決するにはパラメータの自動調整手法の研究が必要となり、関連する研究⁹⁾が進められているものの、短期的な解決は困難であると考えられる。

そこで、今後の方向性としては、継続的に更なる予測精度向上を図ることは勿論だが、早期実運用化が可能な、新たなRISEの活用方法を並行して検討し、段階的な予測情報の活用を図っていくことを検討する必要があると考えられる。

- 例えば、現状では予測所要時間よりも精度が高いRYGの活用（渋滞の増減傾向への活用等）
- 例えば、交通管理業務の効率化支援システムとしての活用（工事の交通影響予測等）

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。

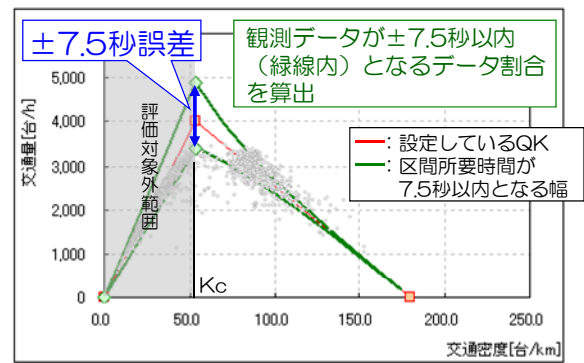


図-14 Q-K関係の例（3号渋谷線上路間）

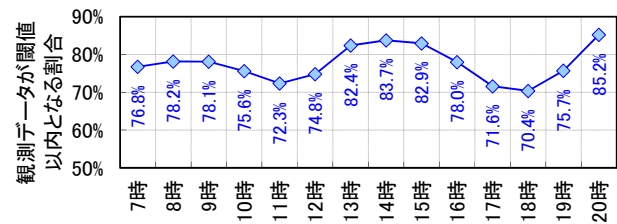


図-15 Q-K関係の分析結果
(真の所要時間±7.5秒以内となる時間帯別割合)

参考文献

- Warita,H., Okada,T. & Tanaka,A.(2001).: Evaluation Operation for Travel Time Information on the Metropolitan Expressway: ITS Sydney
- 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
- 田村勇二, 割田博, 稲富貴久, 船岡直樹, 佐藤光, 堀口良太, 白石智良, 桑原雅夫: 「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」, ITSシンポジウム2012
- 中村毅一郎, 森田緯之, 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 (TRANDEMEX) の適用について」, 交通工学, vol.3(2), pp.9, 2004
- 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
- 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
- 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/>
- 割田博, 赤羽弘和, 船岡直樹, 岡村寛明, 森田緯之: 「首都高速道路におけるキャパシティボールの抽出とその特性分析」, 土木計画学研究・講演集 Vol.29, 2004
- 白石智良, 赤羽弘和, 小根山裕之, 田中伸治: 「都市高速道路における臨界速度の自動設定法の開発とボトルネック容量分析への適用」, 第32回交通工学研究発表会, pp.57-, 2012

A STUDY ABOUT IMPROVING THE ACCURACY OF THE TRAFFIC PREDICTION ON TOKYO METROPOLITAN EXPRESSWAY

Yuji TAMURA, Hiroshi WARITA, Shuichi KOYAMA, Tomoyoshi SHIRAISHI,
Masao KUWAHARA