

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

*首都高速道路(株) 正会員 宗像 恵子
 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 田村 勇二
 首都高速道路(株) 正会員 割田 博
 (株)アイ・トランスポート・ラボ 正会員 白石 智良

1. はじめに

首都高速道路(以下,首都高)は,路線延長 295.0km, 1日の利用台数 115万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,中央環状線の整備が進んできており,首都高を利用するお客様にとって,経路選択はますます多様になってきている¹⁾(図1).



図1 首都高速道路のネットワーク図(東京線)

また一方で,所要時間情報は,お客様からのニーズが高い交通情報の一つである.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元に,同時刻和で算出した所要時間を提供している.これは,1分毎に計測された速度を元に,5分切り上げ表示をしたもので,約9割は実際にお客様が通過されるであろう時間との中しており,概ね良好な精度を保っている²⁾.しかし,事故等が発生した場合,渋滞が急激に延伸する場合,提供している所要時間とお客様が経験されるであろう所要時間に大きな乖離が生じることがある.

この乖離を解消し,所要時間の信頼性を高めるために,首都高(株)では,平成17年度から交通状況予測シミュレーションの開発研究を行ってきた.このリアルタイム予測シミュレーション(Real time traffic Information by dynamic Simulation on urban Expressway:以下,RISE)は,2009年度に改修の首都高交通管制システムの一部として実装され,2009年11月頃には,お客様センターでの運用開始を目指し,構築を進めている.

Keywords: 交通管制システム, 交通状況予測
 予測シミュレーション

* 連絡先: k.munakata613@shutoko.jp
 (Phone) 03-3539-9507

2. RISEの特徴と予測結果の利活用

RISEは,交通管制システムとオンラインで接続することで,その日・その時刻の交通状況を考慮した予測が可能とする.また,システムの構成にあたっては,モジュール単位のシステム構成としており,メンテナンスしやすく,且つ機能性・拡張性に富むものとしている.

RISEは,交通情報提供(RISE-Information),ランブ流入調整や工事規制の際の能動的かつ多様な交通管理支援(RISE-TrafficControl),オフラインでの過去データ利用による交通運用評価(RISE-Evaluation)や,中長期的な将来予測(RISE-Planning)への利活用を想定している.当面はオペレータによる問い合わせ窓口であるお客様センターでの交通情報提供による利活用を予定している.お客様センターでのサービスイメージを図2に示す.

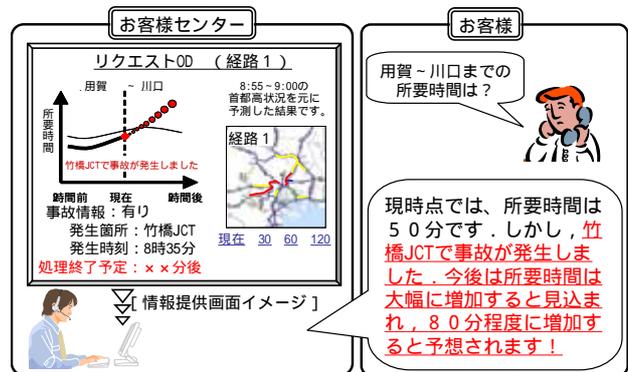


図2 お客様センターでのサービスイメージ

3. RISEのソフトウェアモジュール構成

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.各モジュールの接続関係を図3に示す.

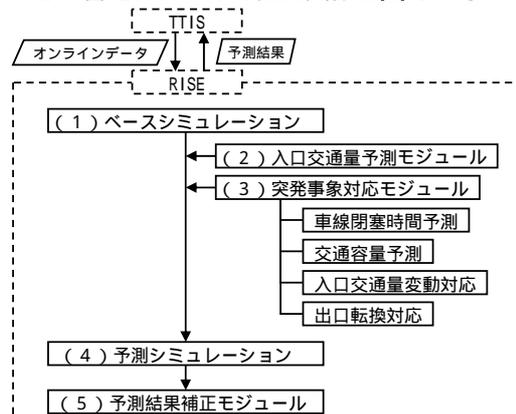


図3 RISE各モジュールの接続関係

3 - 1 . ベースシミュレーション

ベースシミュレーションは、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「TRANDMEX³⁾」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4に示す。

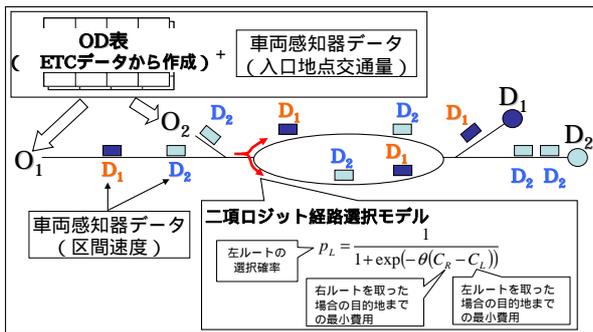


図4 ベースシミュレーションの動作イメージ

ここで、各ルートのリンク費用は、経路選択層と経路固定層にわけられ、式1及び式2にて算出される。経路選択層及び固定層の割合は、50:50としている。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係数を導入している。

信頼性指標パラメータは、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、ドライバーは車線変更をする際に合流抵抗を感じていると仮定し、車線変更を必要とする JCT 部の渡り線に設定しているダミーコストである。

経路選択層：

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

経路固定層：

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

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)

3 - 2 . 入口交通量予測モジュール

予測シミュレーションにおける入口交通量は、当日直前の入口交通量と入口交通量基本パターンを使用し、自己回帰移動平均 (ARMA) モデルにて予測される。入口交通量基本パターンは、月毎に同一曜日の 5 分間入口交通量を平均化し作成される。モデル式を式 3 に示し、入口交通量予測イメージを図 5 に示す。

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

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

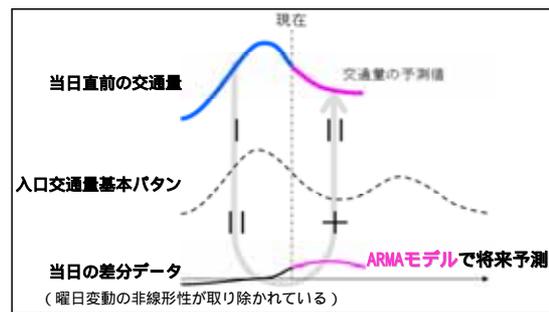


図5 入口交通量予測イメージ

3 - 3 . 突発事象対応モジュール

突発事象への対応として、RISE 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する。現時点では、事故を主たる対象としているが、故障車や落下物にも今後対応する予定である。

(1) 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、消防・救急の出動有無、事故台数、作業車両の出動有無の 3 つの登録情報である。詳細は稲富らの研究⁴⁾による。

(2) 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。

(3) 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。詳細は田村らの研究⁵⁾による。

(4) 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。

3 - 4 . 予測シミュレーション

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-21⁶⁾」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ゾモデルの一種であり、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 6 に、フローモデルの概念図を図 7 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 63 区間である。

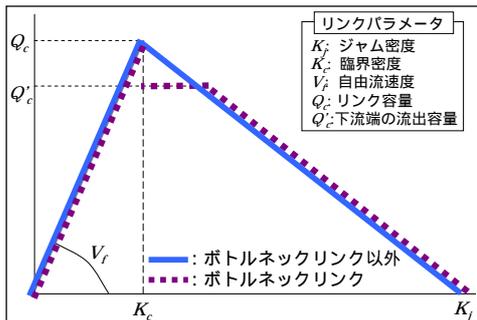


図 6 RISE で用いる Q-K 関係

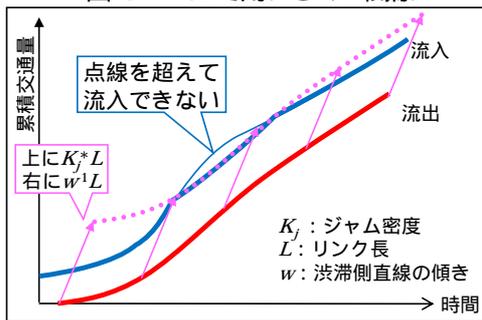


図 7 RISE のフローモデル概念図 (Kinematic Wave 理論)

3 - 5 . 予測結果補正モジュール

RISE の予測結果（予測区間旅行時間）と最新の観測値データを比較し、その乖離がある閾値以上の場合に予測区間旅行時間を補正する仕組みを予定している。

4 . 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、平常時と突発事象（事故）発生時の予測を実施した。評価対象は川口線（東北道～江北 JCT）とし、追跡時刻和で算出した所要時間による評価を実施した。

4 - 1 . 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 に示し、所要時間の評価結果を図 9 に示す。速度ランク図における渋滞状況は、一部予測開始から 40 分程度の新郷入部でやや渋滞が過剰気味に発生している、また、一時間後程度の足立入谷を先頭とした渋滞状況が反映されていないといった箇所はあるものの、概ね真値と同様の渋滞状況が予測された。所要時間的中率も、現在の同時刻和と同程度の±5分で90%を達成している。

区間	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
6:55 - 7:00	881	874	872	871	870	869	868	867	866	865	864	863	862	861	860	859	858	857	856
7:00 - 7:05	879	878	877	876	875	874	873	872	871	870	869	868	867	866	865	864	863	862	861
7:05 - 7:10	878	877	876	875	874	873	872	871	870	869	868	867	866	865	864	863	862	861	860
7:10 - 7:15	877	876	875	874	873	872	871	870	869	868	867	866	865	864	863	862	861	860	859
7:15 - 7:20	876	875	874	873	872	871	870	869	868	867	866	865	864	863	862	861	860	859	858
7:20 - 7:25	875	874	873	872	871	870	869	868	867	866	865	864	863	862	861	860	859	858	857
7:25 - 7:30	874	873	872	871	870	869	868	867	866	865	864	863	862	861	860	859	858	857	856
7:30 - 7:35	873	872	871	870	869	868	867	866	865	864	863	862	861	860	859	858	857	856	855
7:35 - 7:40	872	871	870	869	868	867	866	865	864	863	862	861	860	859	858	857	856	855	854
7:40 - 7:45	871	870	869	868	867	866	865	864	863	862	861	860	859	858	857	856	855	854	853
7:45 - 7:50	870	869	868	867	866	865	864	863	862	861	860	859	858	857	856	855	854	853	852
7:50 - 7:55	869	868	867	866	865	864	863	862	861	860	859	858	857	856	855	854	853	852	851
7:55 - 8:00	868	867	866	865	864	863	862	861	860	859	858	857	856	855	854	853	852	851	850
8:00 - 8:05	867	866	865	864	863	862	861	860	859	858	857	856	855	854	853	852	851	850	849
8:05 - 8:10	866	865	864	863	862	861	860	859	858	857	856	855	854	853	852	851	850	849	848
8:10 - 8:15	865	864	863	862	861	860	859	858	857	856	855	854	853	852	851	850	849	848	847
8:15 - 8:20	864	863	862	861	860	859	858	857	856	855	854	853	852	851	850	849	848	847	846
8:20 - 8:25	863	862	861	860	859	858	857	856	855	854	853	852	851	850	849	848	847	846	845
8:25 - 8:30	862	861	860	859	858	857	856	855	854	853	852	851	850	849	848	847	846	845	844
8:30 - 8:35	861	860	859	858	857	856	855	854	853	852	851	850	849	848	847	846	845	844	843
8:35 - 8:40	860	859	858	857	856	855	854	853	852	851	850	849	848	847	846	845	844	843	842
8:40 - 8:45	859	858	857	856	855	854	853	852	851	850	849	848	847	846	845	844	843	842	841
8:45 - 8:50	858	857	856	855	854	853	852	851	850	849	848	847	846	845	844	843	842	841	840
8:50 - 8:55	857	856	855	854	853	852	851	850	849	848	847	846	845	844	843	842	841	840	839
8:55 - 9:00	856	855	854	853	852	851	850	849	848	847	846	845	844	843	842	841	840	839	838

区間	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
6:55 - 7:00	869	868	867	866	865	864	863	862	861	860	859	858	857	856	855	854	853	852	851
7:00 - 7:05	868	867	866	865	864	863	862	861	860	859	858	857	856	855	854	853	852	851	850
7:05 - 7:10	867	866	865	864	863	862	861	860	859	858	857	856	855	854	853	852	851	850	849
7:10 - 7:15	866	865	864	863	862	861	860	859	858	857	856	855	854	853	852	851	850	849	848
7:15 - 7:20	865	864	863	862	861	860	859	858	857	856	855	854	853	852	851	850	849	848	847
7:20 - 7:25	864	863	862	861	860	859	858	857	856	855	854	853	852	851	850	849	848	847	846
7:25 - 7:30	863	862	861	860	859	858	857	856	855	854	853	852	851	850	849	848	847	846	845
7:30 - 7:35	862	861	860	859	858	857	856	855	854	853	852	851	850	849	848	847	846	845	844
7:35 - 7:40	861	860	859	858	857	856	855	854	853	852	851	850	849	848	847	846	845	844	843
7:40 - 7:45	860	859	858	857	856	855	854	853	852	851	850	849	848	847	846	845	844	843	842
7:45 - 7:50	859	858	857	856	855	854	853	852	851	850	849	848	847	846	845	844	843	842	841
7:50 - 7:55	858	857	856	855	854	853	852	851	850	849	848	847	846	845	844	843	842	841	840
7:55 - 8:00	857	856	855	854	853	852	851	850	849	848	847	846	845	844	843	842	841	840	839
8:00 - 8:05	856	855	854	853	852	851	850	849	848	847	846	845	844	843	842	841	840	839	838
8:05 - 8:10	855	854	853	852	851	850	849	848	847	846	845	844	843	842	841	840	839	838	837
8:10 - 8:15	854	853	852	851	850	849	848	847	846	845	844	843	842	841	840	839	838	837	836
8:15 - 8:20	853	852	851	850	849	848	847	846	845	844	843	842	841	840	839	838	837	836	835
8:20 - 8:25	852	851	850	849	848	847	846	845	844	843	842	841	840	839	838	837	836	835	834
8:25 - 8:30	851	850	849	848	847	846	845	844	843	842	841	840	839	838	837	836	835	834	833
8:30 - 8:35	850	849	848	847	846	845	844	843	842	841	840	839	838	837	836	835	834	833	832
8:35 - 8:40	849	848	847	846	845	844	843	842	841	840	839	838	837	836	835	834	833	832	831
8:40 - 8:45	848	847	846	845	844	843	842	841	840	839	838	837	836	835	834	833	832	831	830
8:45 - 8:50	847	846	845	844	843	842	841	840	839	838	837	836	835	834	833	832	831	830	829
8:50 - 8:55	846	845	844	843	842	841	840	839	838	837	836	835	834	833	832	831	830	829	828
8:55 - 9:00	845	844	843	842	841	840	839	838	837	836	835	834	833	832	831	830	829	828	827

図 8 平常時の予測結果（上：真値 下：予測結果）

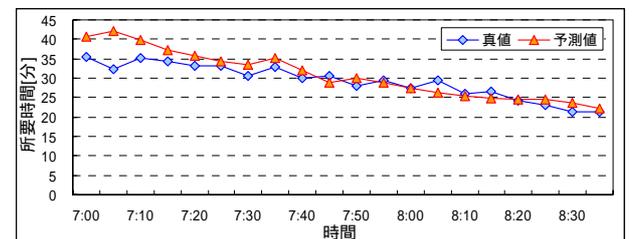


図 9 予測所要時間評価（東北道～江北 JCT）

4 - 2 . 突発事象発生時の予測結果

川口線（東北道～江北 JCT）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 1 に示し、突発事象対応モジュールの対応を表 2 に示す。また、東北道の入口交通量予測結果（突発事象対応モジュールによる対応あり）を図 10 に示す。入口交通量変動対応により、20%交通量を低減しているが、真値と比較すると 1181 [台/2 時間] 多い結

果となっており、入口交通量変動パターンに課題が残ることがわかる。

事故発生から約 10 分後 (16:40) に予測開始した結果について、速度ランク図を図 11 に示し、所要時間の評価結果を図 12 に示す。速度ランク図の示す渋滞状況からみると、事故処理後の渋滞解消が真値よりも早いほか、本線料金所以降の渋滞発現が若干異なるが、渋滞・混雑状況は概ね良好に予測できている。所要時間については、真値±5 分の的中率は 45%とやや劣るものの、事故といった突発事象発生時における所要時間の誤差の程度からすると、利用者も若干長めに許容できるとのアンケート結果⁷⁾などもあることから、閾値を±10 分とすると、100%的中率となる。このことから、突発時における予測についても、良好な結果といえる。

表 1 事故事例の詳細

事故情報	
事故日	平日(水)
路線	川口線上り
管制受理時刻	16:31
事故継続時間	78分
入口閉鎖	なし
救急・消防出動	なし
天候	晴
区間	11
処理終了時刻	17:43
車線閉塞状況	一車線
事故台数	2台
作業車両出動	なし

表 2 突発事象対応モジュールの対応

突発事象対応モジュールの対応 (16:40予測開始時点)	
車線閉塞時間予測	50分
事故箇所交通容量	690台/時/車線
入口交通量変動対応	東北道:-20% 加賀:+25% 鹿浜橋(上):+7% 扇大橋(外):+16%
出口転換対応	- (転換しないと予測された)

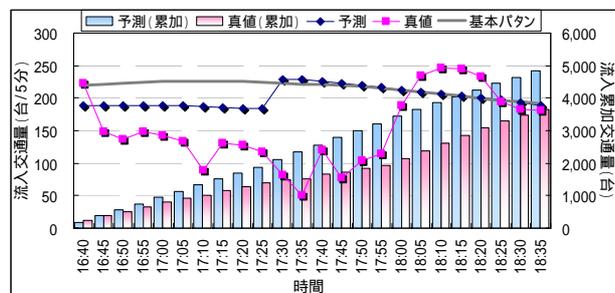


図 10 東北道からの入口交通量予測結果

5. おわりに

シミュレーション関連での今後の課題としては、以下の項目が挙げられる。今後も引き続き検討が必要である。

- ・ Q-K パラメータのオンラインフィッティング方法の検討
- ・ 平日 / 休日, 晴天時 / 雨天時, 昼 / 夜の傾向の異なるパラメータの設定
- ・ 周辺環境変化 (新規路線供用など) に対する対応手法の検討
- ・ 渋滞側 Q-K 曲線の非線形化の検討

RISE そのものの予測精度については、日々検証を

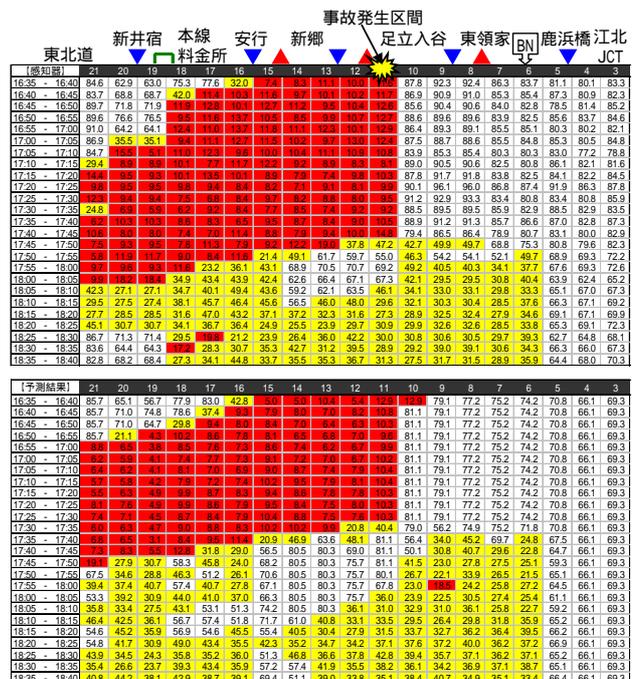


図 11 事故時の予測結果 (上: 真値 下: 予測結果)

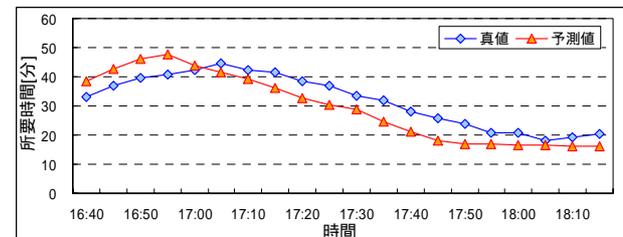


図 12 予測所要時間評価 (東北道~江北JCT)

開始に向けて、運用面での検討・整理や、運用後の事後評価等も必要となる。

6. 謝辞

リアルタイムネットワークの中でご指導いただきました東京大学生産技術研究所桑原教授はじめ、関係各位にこの場を借りて御礼申し上げます。

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.(2001).;Evaluation Operation for Travel Time Information on the Metropolitan Expressway: ITS Sydney
- 3) 中村毅一郎,森田紳之,吉井稔雄,小根山裕之,島崎博,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
- 4) 稲富貴久,割田博,桑原雅夫,佐藤光,岡田知朗;首都高速道路における事故処理時間予測に関する一考察,土木計画学研究・講演集,Vol.36,2007.11
- 5) 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.37,2008.6
- 6) <http://www.i-transportlab.jp/products/sound/index.html/>
- 7) 首都高速道路(株),交通管制システムの高度化及び効率化に関する技術資料作成 (平成 20 年度),報告書,H21.5