

アップリンク情報を活用した都市間高速道路における 旅行時間予測手法の研究

舌間貴宏^{*1} 村重至康^{*1} 山岸肇^{*2} 大内浩之^{*2} 堀口良太^{*3}

(株) 高速道路総合技術研究所^{*1}

西日本高速道路 (株) ^{*2}

(株) アイ・トランスポート・ラボ^{*3}

本研究は、都市間高速道路に設置された DSRC ビーコンにより収集された車両通過履歴（アップリンク）情報を元に、旅行時間を予測（短期）する手法を開発し、その適用性を検討するものである。現在、都市間高速道路で提供されている旅行時間情報は、情報提供時点の交通状況に基づいた情報であり、それ以降に発生する渋滞伸縮時等の交通状況変化を考慮した情報ではない。そのため、提供した旅行時間と実際にドライバーが経験する旅行時間に乖離が生じることがあり、情報精度の向上が求められている。この問題に対しては、旅行時間を予測することが有効であり、筆者らは平成 16 年度からアップリンク情報を利用する予測手法の検討を行ってきた。本稿では、九州自動車道（以下、単に九州道）で収集されたアップリンク情報に開発した手法を適用して予測した場合と、車両感知器情報から区間旅行時間を算出して予測した場合を比較検討した結果について報告する。

Travel Time Prediction on Inter-Urban Expressways Based on Uplink Information

Takahiro SHITAMA^{*1} Yoshiyasu MURASHIGE^{*1} Hajime YAMAGISHI^{*2} hiroyuki OOUCHI^{*2}

Ryota HORIGUCHI^{*3}

Nippon Expressway Research Institute Co., Ltd.^{*1}

West Nippon Expressway Co., Ltd.^{*2}

i-Transport Lab. Co., Ltd.^{*3}

This paper describes a development of travel time prediction method based on uplink information collected on inter-urban expressways. The method predicts the cumulative traffic flow curves both at downstream and upstream ends of each interchange section and measures future travel time from the difference of two curves on time axis. Uplinks are used to estimate the traffic flow at the imaginary upstream end from the detector data at the downstream end. In the paper, the outline of the prediction method is explained at first. Then, the validation of this prediction method is reported through the application on the Kyushu Expressway.

Keyword: travel time prediction, expressway, telematics, uplink, DSRC.

1. はじめに

現在、都市間高速道路で提供されている旅行時間情報は、情報提供時点の交通状況に基づいた情報であり、それ以降に発生する渋滞伸縮時等の交通状況変化を考慮した情報ではない。交通状況が変動する時間帯においては、現在の情報を元にしての限り区間上流で受け取った旅行時間情報と、実際にその区間を走行するのに要する旅行時間が、計測の時間遅れのために乖離してしまう¹⁾。この問題に対しては、旅行時間を予測することが有効であり、これまでも当日の旅行時間変動パターンと類似する過去の変動データから予測値を作成する手法²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾や、カルマンフィルタなどの時系列予測手法を使うもの⁶⁾⁷⁾、シミュレーションモデルを利用するもの⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾など、旅行時間の短期予測手法に関する研究の報告がある。筆者らは平成16年度から、都市間高速道路本線上で収集されるアップリンク情報を活用した旅行時間予測手法の検討を行っており¹¹⁾¹²⁾、実際の交通データに適用しながら、精度向上に努めてきた。

本稿では、都市間高速道路で収集したアップリンク情報から区間旅行時間を計測し、旅行時間を予測する手法について解説する。次に平成18年3月から九州道で開始された「九州道バスロケーションシステム」の社会実験で得られたアップリンク情報を使って予測した場合と、アップリンク情報を使わずに車両感知器情報より得られる地点速度データから区間旅行時間を算出して予測した場合を比較検証した事例を報告する。

2. アップリンク情報を利用した旅行時間予測

2-1 アップリンク情報による旅行時間計測の得失

アップリンク情報とは、路側に設置した機器により本線を走行するETC車両のリンクID及びデータ取得時刻を収集した情報である(図-1)。隣接するDSRCビーコンで収集されたアップリンク情報を照合することで、その区間の旅行時間を計測することができる。リンクIDはエンジンを始動する都度、ランダムに発生するため、個人の特特定が不可能なIDである。

区間旅行時間を、アップリンク情報を使って計測する場合と、車両感知器の地点速度データから区間旅行時間を算出する場合の得失を表-1に整理した。アップリンク情報による旅行時間計測は、同一車両の区間旅行時間を直接計測していることなどのメリットがあるが、計測には原理的に時間遅れが発生するため、予測技術を適切に組み合わせる必要がある。

表-1 アップリンク情報と車両感知器情報の得失比較

	アップリンク情報	車両感知器情報
区間旅行時間計測	◎ 車両感知器より疎 の設置間隔で可	○ 精度を高くする 場合、設置間隔 を密にすることが 必要
交通量計測	×	○
時間遅れ	△ 下流端を通過しな いと計測できない	○ 設置間隔が密な ら遅れは小さい

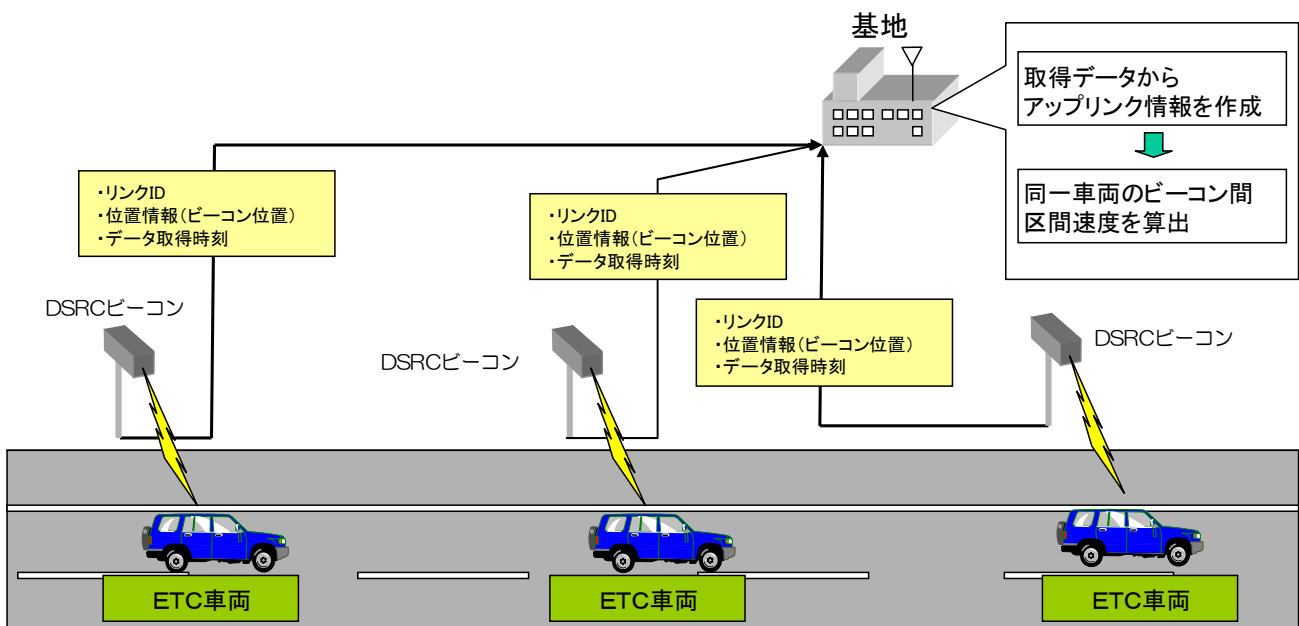


図-1 アップリンク情報概念図

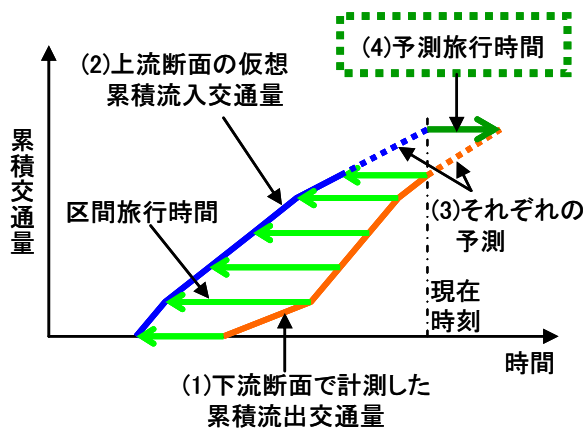


図-2 交通量累積図を用いた所要時間予測

2-2 旅行時間予測手法の概要

ここで利用する旅行時間予測手法は、アップリンク情報を収集する DSRC ビーコンが設置されている区間を 1 単位区間とし、その上下流断面での累積交通量曲線を予測して、両者の時間軸方向の差から任意の時点での旅行時間を求めるものである。

予測旅行時間算出手法の概要を以下に示す (図-2)。

- (1) 予測対象区間の下流断面にある車両感知器で計測した累積流出交通量曲線を求める。
- (2) アップリンク情報を用いて得られる区間旅行時間に相当する分だけ、下流の累積曲線を左にシフトし、上流断面での仮想の累積流入交通量を求める。
- (3) 累積流出交通量と仮想累積流入交通量を必要な時点まで予測する (図-3 参照)。
- (4) 両者の時間軸方向の差から、予測旅行時間を求める。

速度変動を直接予測するのではなく、累積交通量を予測してから旅行時間を求めているのは、上流側の交通需要と下流側の交通供給の関係が明示的に表現されているため、交通状態を合理的に反映でき、事故発生時などの特異事象にも対応が可能な手法とするためである。

なお、上記(2)は、アップリンク情報が利用できない路線では、代わりにその時間帯での車両感知器の地点速度データから区間旅行時間を算出し、出発地から目的地まで合計した「同時刻和旅行時間(感知器同時刻和)」を用いることもできるが、その場合は車両感知器が密に配置されていなければ、予測精度は低下する。

また、上記(3)での累積交通量の予測には、これま

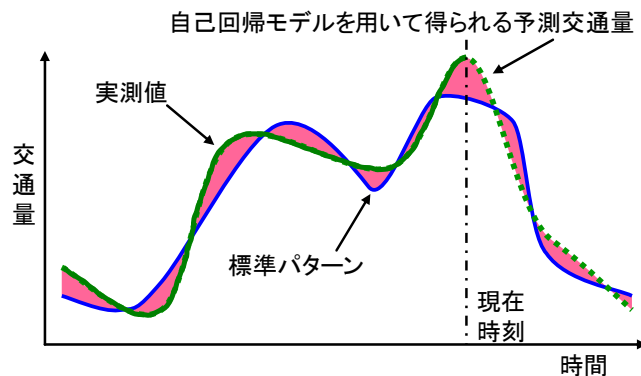


図-3 交通量の標準パターンと予測交通量

で類似パターン照合による手法と、自己回帰モデルによる時系列予測手法のそれぞれの精度を比較し、後者を採用している。すなわち、過去の一定期間の車両感知器情報から曜日別(平日・土曜日・休日)に平均交通量変動パターン(標準パターン)をあらかじめ作成しておき、これと予測当日の直前の交通量変動(実測値)との差分の自己回帰モデルを求め、こうして得られた差分を標準パターンに重ね合わせて、予測交通量を算出する(図-3)¹²⁾。

また、ゴールデンウィークやお盆・年末年始の繁忙期間のような特異な休日では、標準パターンとして単純な平均変動パターンを用意するだけでは不十分である。このため、高速道路3会社がホームページ等で提供する「ドライブカレンダー(渋滞予測カレンダー)」と同様の考え方で作成した渋滞予想遷移図から交通量変動を読みとり、これを代わりに用いるなど、従来の中長期的な予測手法との親和性が高いことも、本手法の特徴である。

3. 九州道でのアップリンク情報収集

3-1 九州道での社会実験概要

平成 18 年 3 月より、九州道の太宰府 IC～益城熊本空港 IC 間において、ETC 車載器と DSRC ビーコンを利用してアップリンク情報を収集・活用する社会実験「九州道バスロケーションシステム」が行われている。この区間の DSRC ビーコン設置間隔は約 9km であり、車両感知器設置間隔は太宰府 IC～八女 IC 間が約 2km、八女 IC～益城熊本空港 IC 間が約 9km (1ヶ所/IC 間) である。

3-2 異常データの除去

図-4 に、ある 1 日におけるアップリンク情報から求めた同時刻和旅行時間と、車両感知器情報から求

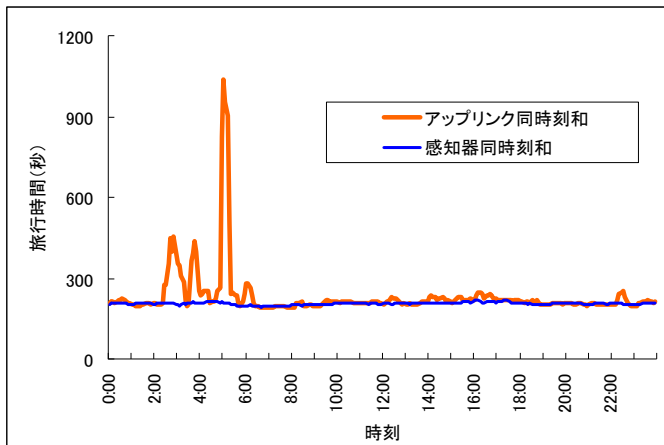


図-4 夜間のアップリンク情報異常値
九州道広川 IC～八女 IC (上り線)
(2006年8月8日)

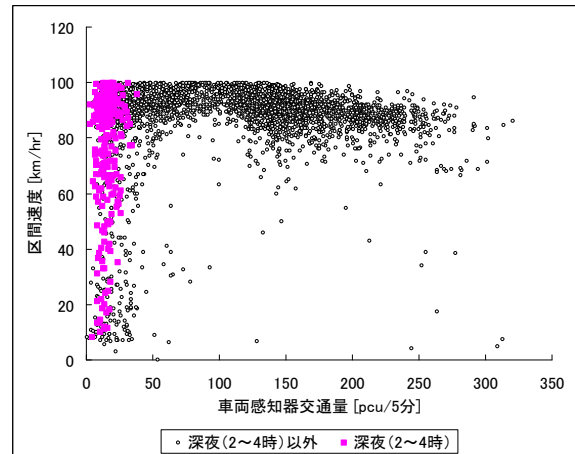


図-5 アップリンク区間速度による Q-V 図
九州道広川 IC間～八女 IC(上り線 114.07KP 地点)
(2006年8月)

めた同時刻和旅行時間を示す。図より、アップリンク情報による旅行時間が深夜の時間帯に極端に大きくなっていることがわかる。これは、サービスエリア等の施設で休憩した旅行時間が極端に長い車両のアップリンク情報が、アップリンク数の少ない深夜の時間帯での平均値を歪ませたものと考えられる。

このような異常値を検出し、除去する閾値を確認するため、車両感知器交通量とアップリンク区間速度から Q-V 図を求めた (図-5)。ハイライトされている夜間の Q-V 状態は交通量が少なく、実際には自由流速度で走行しているはずだが、低い速度域にもプロットが見られる。今回は、このような異常なアップリンク情報を取り除くため、次の条件が全て当てはまるアップリンク情報を無視し、かわりに車両感知器の地点速度データを使うこととした。

- ・車両感知器交通量が 20[台/5分/車線] 未満、
- ・アップリンク数が 3[台/1分] 未満、
- ・アップリンク区間速度が 70[km/h] 未満。

4. 旅行時間予測情報の検証

検証は九州道において渋滞発生頻度の高い、平成18年8月のデータを利用した。ここでは、実際の走行履歴に沿ってアップリンク情報から得られる区間旅行時間を時間経過に従って合計したものである、「アップリンク追跡時刻和旅行時間 (以下、単に追跡時刻和)」を真値と仮定し、次の①～④の旅行時間情報の的中率を比較した。

また、同時刻和旅行時間とは、各々の車両感知器の勢力範囲を定め、勢力範囲毎の距離を当該車両感知器により計測した速度で除して得られる区間旅行

時間を合計したものである。

- ① 車両感知器情報を用いた同時刻和旅行時間 (感知器同時刻和)：現在提供中の旅行時間
- ② 車両感知器情報を用いた予測旅行時間 (感知器予測)
- ③ アップリンク情報を用いた同時刻和旅行時間 (アップリンク同時刻和)
- ④ アップリンク情報を用いた予測旅行時間 (アップリンク予測)

なお、①と②の的中率については、車両感知器が約2km毎に設置されている、太宰府 IC～八女 IC 間及び太宰府 IC～久留米 IC 間を検証の対象とした。

これらの旅行時間情報の精度を、お客様の許容範囲内におさまる確率 (的中率) で評価することとし、既往のアンケート調査結果¹³⁾を基に、真値と仮定した追跡時刻和に対して、表-2に示す許容範囲の上下限値を設定した。特に下限値については、上限の半分の幅としている。これは、提供する旅行時間情報が実際の旅行時間よりも短かった場合の方が、長い場合よりもお客様が被る不利益が大きいという考えに基づくものである。

表-2 所要時間に対する許容範囲の設定

所要時間 (追跡時刻和)	許容範囲	
	上限	下限
30分未満	+5分	-2.5分
30分以上 60分未満	+10分	-5.0分
60分以上 120分未満	+15分	-7.5分
120分以上	+20分	-10分

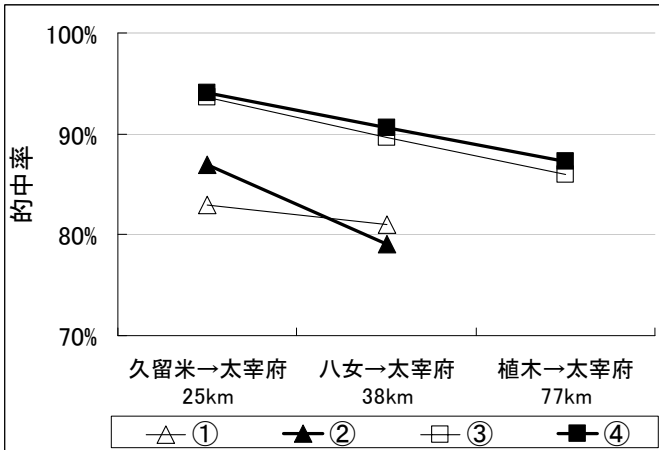


図-6 九州道での的中率比較（上下限值）

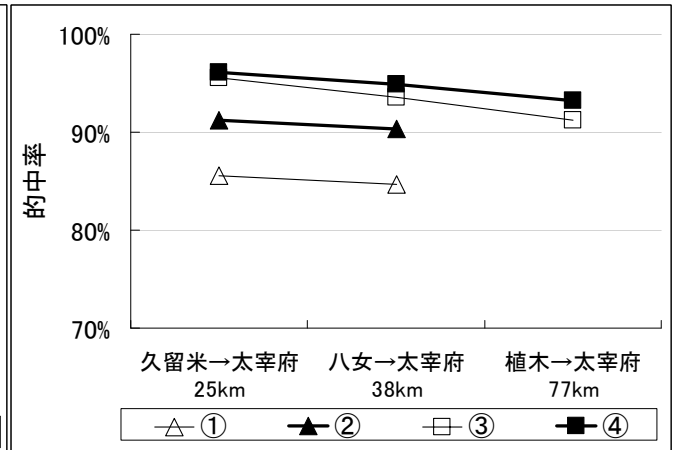


図-7 九州道での的中率比較（下限値のみ）

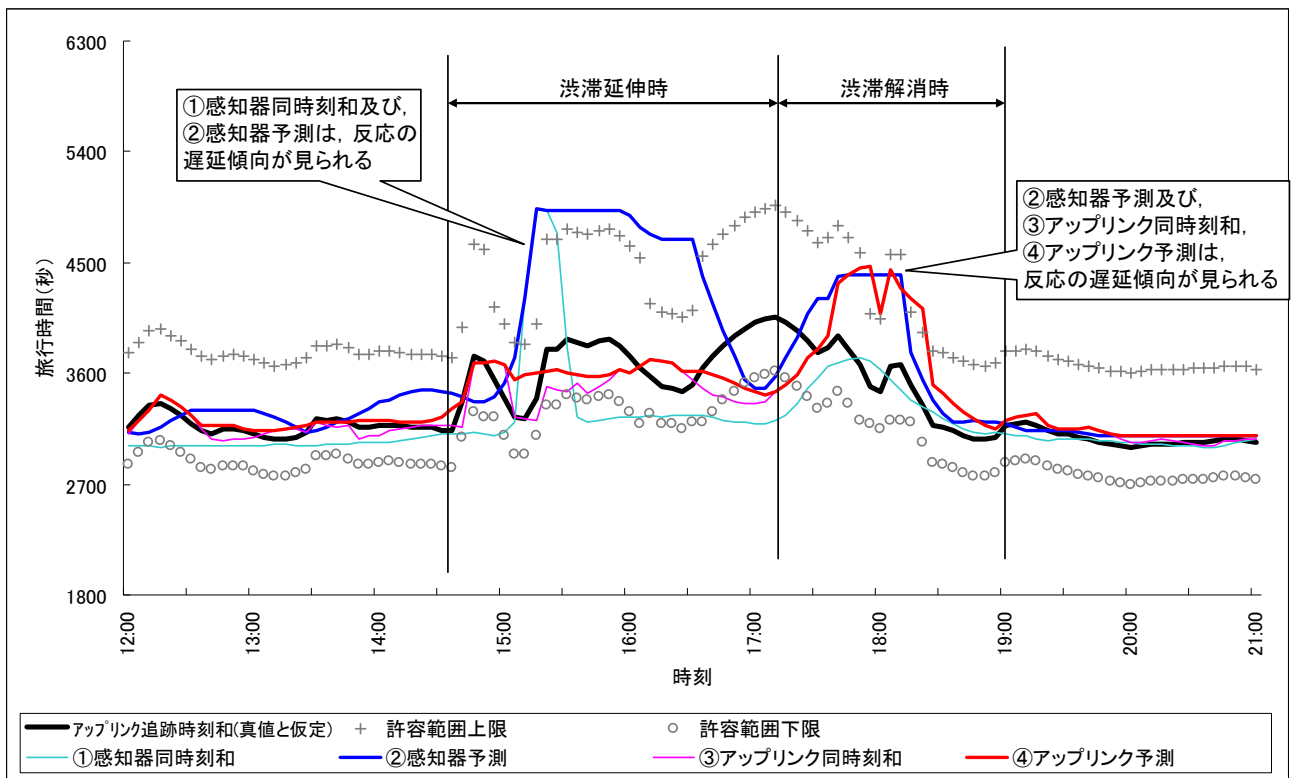


図-8 渋滞発生日の所要時間比較 九州道太宰府IC～植木IC（上り線，2006年8月25日）

図-6及び図-7は、特に予測精度が低下しやすい速度低下時間帯（混雑及び渋滞時）のみを対象とし、代表的なIC区間における1ヶ月間の的中率を評価した結果である。図より、①②の車両感知器情報を用いた旅行時間よりも、③④のアップリンク情報を用いた旅行時間の的中率が高いことが分かる。

図-8に渋滞発生日の速度低下時間帯における旅行時間予測結果の例を示す。渋滞延伸時には、③④のアップリンク情報を用いた旅行時間は比較的反応の遅延が無く、増加傾向を示しているが、①②の車両

感知器情報を用いた旅行時間は反応の遅延があり、許容範囲の上限値を超えている。また、渋滞解消時には、②③④の旅行時間は反応の遅延が見られ、許容範囲の上限値を超えている。

全体的に③④の旅行時間は、真値と仮定したアップリンク追跡時刻和と旅行時間の変動状況に比較的近い動きを示す。

5. まとめと課題

以上において、アップリンク情報を活用した予測

旅行時間情報について、九州道でのデータを用いて各種旅行時間情報の精度を比較検討した結果、DSRC ビーコン設置間隔が約 9km でも、車両感知器（約 2km 間隔）の地点速度データから区間旅行時間を算出して予測するよりも精度が良いことを確認した。

しかしながら、繁忙期間の特異な交通パターンによって渋滞が急激に延伸すると、アップリンク予測旅行時間が許容範囲の上限値を超えてしまう場合も見られた。さらなる精度向上を目指した予測手法の改良や、突発事象発生時の予測に用いられる交通量変動の標準パターンを状況に合わせて調整するなどの対応について、検討を重ねていきたい。

【参考文献】

- 1) 堀口良太, 高橋秀喜, 折野好倫, 尾高寛信: アップリンクを利用した旅行時間と地点速度データに基づく旅行時間の誤差要因に関する理論的考察, 第 23 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.117-120, 2003 年 10 月.
- 2) 上野秀樹, 大場義和, 桑原雅夫: 料金所データを用いた所要時間予測方法の比較, 第 1 回 ITS シンポジウム論文集, pp.515-520, 2002.
- 3) S.Bajwa, E.Chan and M.Kuwahara: Travel time prediction on expressways using traffic detectors, Proceedings of Infrastructure Planning, Vol.26, 2002.
- 4) 舟橋賢二, 西村茂樹, 堀口良太, 赤羽弘和, 桑原雅夫, 小根山裕之: VICS 蓄積データを用いた旅行時間短期予測手法に関する研究, 第 27 回土木計画学研究講演集, Vol.27, 2003.
- 5) 割田博, 森田綽之, 桑原雅夫, 田中淳: 統計的手法による所要時間情報提供に関する研究, 第 2 回 ITS シンポジウム 2003 予稿集, pp.215-220, 2003.
- 6) 若尾将徳, 谷口綾子, 中辻隆: 高速道路における旅行時間予測に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No.20 (1), pp.477-480, 1997.
- 7) R.Pueboobpaphan, 中辻隆, 鈴木宏典: Unscented カルマンフィルターによる高速道路における OD 交通量と交通状態のオンライン推定, 第 5 回 ITS シンポジウム 2006 予稿集, 2006.
- 8) 巻上安爾, 竹上直輝, 大塚浩司: 高速道路渋滞シミュレーションモデルを用いた旅行時間予測の基礎的研究, 土木計画学研究・講演集, No.20 (1), pp.473-476, 1997.
- 9) 大藤武彦, 西林素彦, 奥島正嗣, 井上矩之: 都市高速道路における渋滞水準を考慮した LP 制御モデルの検討, 第 23 回交通工学研究発表会論文報告集, 2003.
- 10) 白石智良, 桑原雅夫, 堀口良太: リアルタイム予測交通流シミュレーションシステムの開発, 第 30 回土木計画学研究発表会(秋大会)講演論文集 (CD-ROM), 2004.
- 11) 堀口良太, 赤羽弘和, 尾高寛信: 累積交通量とアップリンク情報を用いた高速道路旅行時間の短期予測, 第 2 回 ITS シンポジウム 2003 予稿集, pp.289-294, 2003 年 12 月.
- 12) H.Otaka, R.Horiguchi and H.Akahane: Short term travel time prediction using cumulative traffic counts and uplink information on expressways, 11th World Congress on ITS, Nagoya, October 2004.
- 13) 日本道路公団: 所要時間提供に関する検討報告書, 平成 3 年 3 月.