

当日道路状況を考慮したパターン検索形所要時間予測方式の検討

大場義和*, 上野秀樹, 小山敏博 (株式会社 東芝),
桑原雅夫 (東京大学 国際・産学共同研究センター)

An Examination of Travel Time Prediction Method by Using Pattern Matching in Consideration of Traffic Flow

Yoshikazu Ohba, Hideki Ueno, Toshihiro Koyama (TOSHIBA corp.)

Masao Kuwahara (Center for Collaborative Research, The University of Tokyo)

Abstract

We have developed travel time prediction methods of using toll gate data. This method adopts pattern-matching technique. The verification of this method shows good result. However, there are some errors when the accumulated pattern data doesn't have the similar pattern. In the paper, we raise prediction accuracy in this case. We improve pattern matching method by using cumulative trips. For improvement, we use travel time prediction of about 10 minutes future by using cumulative trips obtained from toll gate data. The verification of improved method shows better accuracy than former method.

キーワード：所要時間、予測、パターン検索、高速道路
(travel time, predict, pattern matching, expressway)

1. まえがき

高速道路の道路交通管制システムにおいては、ドライバーへの提供情報として渋滞関連の情報である所要時間に関する情報の重要性が高まっている。この所要時間情報に関しては、現状、路線に設置された車両感知器等のセンサデータを利用し情報を作成する機会が多い。この場合、センサが設置されていない路線においては所要時間情報の提供が困難となる。これに対し、筆者等は、出口料金所から得られる料金所データを利用した所要時間予測方式を開発してきた。

これは、料金所データから得られた所要時間パターン(1日の所要時間推移データをパターン化したもの)を蓄積後、類似パターン検索により予測当日の所要時間推移と最も類似した所要時間パターンを抽出して、これをもとに所要時間を予測するものである¹⁾。この類似パターン検索を用いた所要時間予測方式(以後類似パターン検索方式と記す)は、通常、過去6ヶ月~12ヶ月程度のデータ蓄積を必要とするが、パターンの正規化やフィルタリングを施す等の改良により少ないデータ蓄積で良好な精度が得られることを確認した²⁾。この方式を利用することで、高速道路において新たにセンサを増設することなく、所要時間情報の提供が可能となる。

しかしながら、過去データに類似したパターンがない場合は、精度的には問題がなくても多少誤差が目立つケースが見られた。そこで、前述の類似パターン検索方式に対し、予測当日の道路状況を一部考慮に入れられるよう改良を加えた。具体的には、料金所データから得られる擬似的な累

積交通量(以後擬似累積交通量と記す)を利用する方式を採用した。更にこの方式に対しフィールドデータを用いた検証を行ったので、その結果を報告する。

2. 対象道路と料金所データ

本研究では高速道路等の有料道路で料金所データ(出入口料金所通過時刻と車種に関するデータ)が得られる路線を対象とする。この出入口料金所通過時刻データより、車両1台1台が実際の走行に要した時間(所要時間実績値)を得ることができる。ここで、所要時間実績値は、出口料金所を車両が通過した時点で初めて得られる事後データであることに注意する必要がある。

また、サービスエリアで食事をとる等の理由で長時間停車している車両等の特異なデータが含まれていることにも注意が必要である。この様な特異データに対しては、その度数分布の解析やクラス分析等の統計的処理による除去を行い、ある単位時間間隔(例えば5分間等)を代表する所要時間(以下代表所要時間と記す)を演算する方法を開発した。特に、特異データ除去においては、オンラインにおける演算負荷を低減させることを目的とし、特異データを①極端に短いデータ、②極端に長いデータ、③分布から外れたデータの3種類に分類し段階的除去を行った。本研究では、この代表所要時間を用いて所要時間を予測する方式について述べる³⁾。図1に料金所データから得られた所要時間実績値と、特異データ除去後に演算した代表所要時間をプロットした結果を示す。

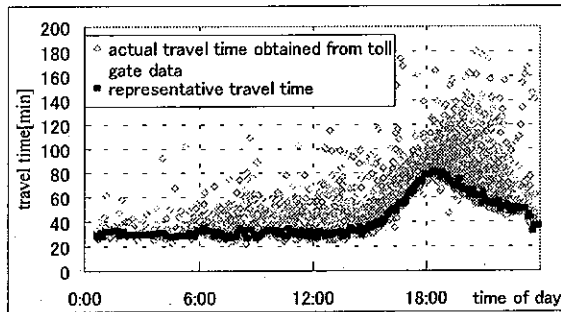


図1 所要時間実績値と代表所要時間

Fig.1 An actual travel time and a calculation result of representative travel time

3. 類似パターン検索を用いた所要時間予測方式

ここでは、類似パターン検索方式の概要を記す。類似パターン検索方式の概念を図2に示す。

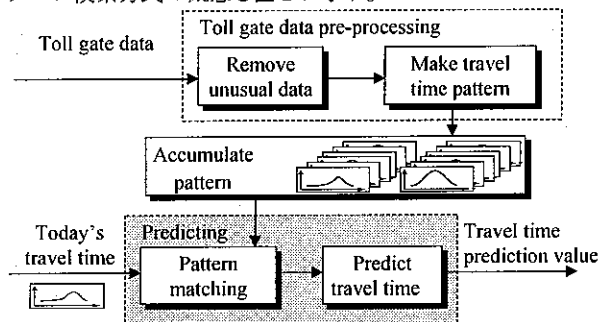


図2 類似パターン検索方式の概念

Fig.2 Concept of travel time prediction by using pattern matching

本方式は、まず、前処理として料金所データから得られる所要時間実績値より代表所要時間を演算する。更にここで得られた単位時間毎の代表所要時間（1日分）を用いてその時間的推移データから所要時間パターンを作成する。パターン作成後は過去の蓄積パターンとして、類似パターン検索用データとして蓄積する。

次に、類似パターン検索により予測当日の所要時間推移と類似したパターンを過去の蓄積パターンの中から抽出する。ここで、類似パターン検索では、以下の処理を行う。

[STEP1] 二乗誤差の演算

予測当日のデータと蓄積された全所要時間パターンの二乗誤差を演算する。

[STEP2] 類似パターンの候補の抽出

[STEP1]で演算した二乗誤差を合計し、二乗誤差の合計が小さい方から順に数パターンを抽出し類似パターン候補抽出とする。

[STEP3] 第2段階の類似パターン候補の絞り込み

[STEP2]にて抽出されたパターンの候補から、当日の

予測時間帯を考慮し、更にパターンの絞り込みを行う。

上述の類似パターン検索にて、予測当日の所要時間推移に最も類似した所要時間パターンを抽出する。しかしながら、抽出したパターンは出口料金所通過時に得られたデータをもとにしたものであり、事後データである。所要時間情報に要求されているのは、入口料金所を通過した時点で目的地である出口料金所までの走行所要時間を予測することである。ここでは、[STEP3]にて抽出されたパターンを、入口料金所通過時刻を考慮して並べ直した結果をもとに、所要時間を予測した。

また、本来、類似パターン検索を用いる場合、予め比較の対象となる過去の蓄積パターンが多数必要である。これに対して、本方式では、蓄積された所要時間パターンに対し最大値による正規化処理を施したり、関数近似によるフィルタリングを施す等の改良を行うことで、所要時間パターンが少ない場合でも精度の良い予測を可能とする方式を開発したり。更に、より精度を向上させるために、代表所要時間の変化量に基づき予測値変化量を制限する等の処理も行っている。以上の手順で演算された所要時間予測結果の例を図3に示す。

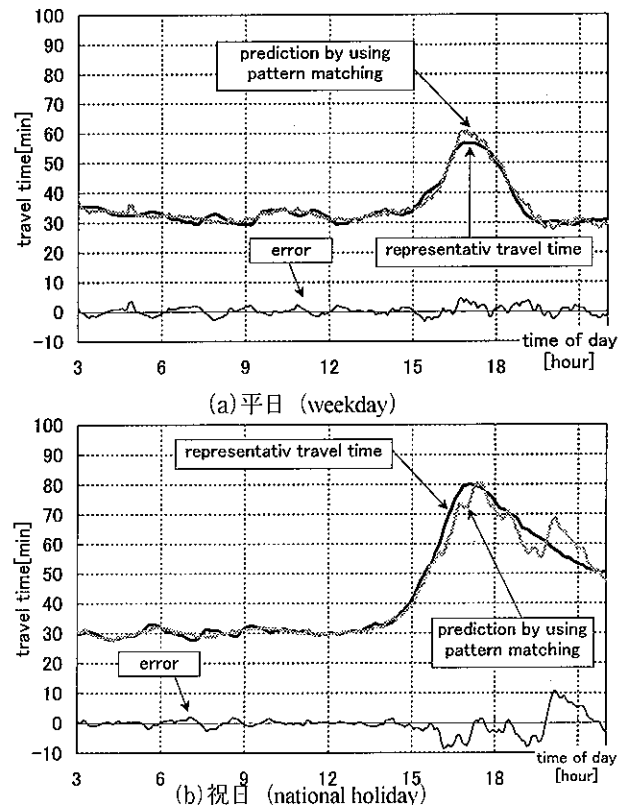


図3 類似パターン検索を用いた走行所要時間予測により予測値演算例

Fig.3 A result of the travel time prediction by pattern matching

図3は同じ月の18日分のデータを利用した場合の予測結果である。図3を見てもわかるように、ほとんどの予測結果が ± 10 [min] 以内の誤差範囲に収まっている。図3(b)は祝日のデータであり、利用した過去のパターンに類似したパターンが存在しないケースであるが、渋滞前後において誤差の増大が多少は見られるものの予測精度としては ± 10 [min] に収まっている。過去のパターンに類似したパターンが存在しない場合に、誤差が多少大きくなるという課題を解決するために、予測当日の道路交通状況を考慮した改良を行ったので、次節にてその詳細を示す。

4. 当日道路交通状況を反映した改良

通常、FIFO (First In First Out) を仮定すると、上流地点X、下流地点Yの累積交通量と地点X～Y間の走行に要する所要時間は、図4の様な関係がある。つまり、2地点間の累積交通量をプロットした場合、同じ累積交通量の値となる点の時刻差が所要時間となる。

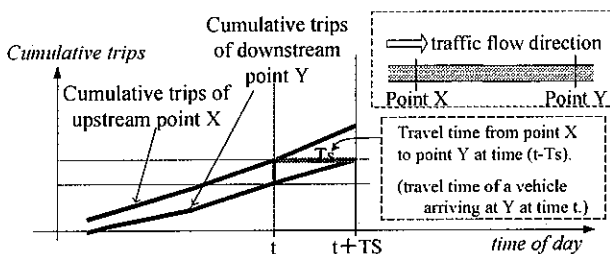


図4 累積交通量と所要時間の関係

Fig.4 Relation between cumulative trips and travel time

累積交通量を予測し、上述の関係を利用することで所要時間の予測が可能となる。しかしながら、本研究でこの関係を利用する場合、以下の課題を解決する必要がある。

- (1) 料金所データから累積交通量データが直接得られない。
- (2) 累積交通量予測を高精度で予測することが必要となる。

(1)に関しては、料金所通過交通量を得ることは可能であるが、今回対象としている高速道路は、料金所を通過した後、上り方向と下り方向に車両の進行方向が分かれるため、累積交通量として利用はできない。本研究では、最下流料金所として本線料金所がある場合を想定し、図4の関係から擬似的に累積交通量（以後擬似累積交通量と記す）を作成しこれを利用した³⁾。対象路線に存在する各料金所に対応した擬似累積交通量を演算し、擬似累積交通量自体を予測することで、当日の道路交通状況を反映した予測が可能となる。具体的には、擬似累積交通量の予測結果を用い、図5に示す考え方を採用することで料金所間の所要時間を予測することが可能となる。

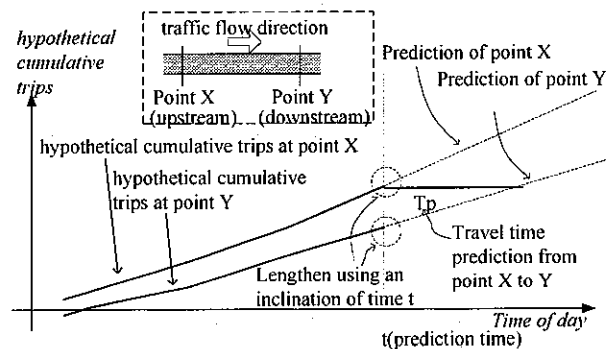


図5 擬似累積交通量を用いた予測演算の概要

Fig.5 Concept of travel time prediction by using of hypothetical cumulative trips

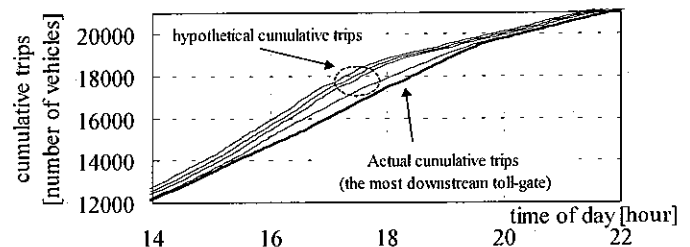


図6 擬似累積交通量の演算例

Fig.6. An example of the hypothetical cumulative trips calculation result

また、(2)の課題に関しては、擬似累積交通量の予測精度を検討する必要がある。擬似累積交通量は、図6に示す様に、単調増加関数であり、比較的予測値の演算は容易であると考えられる。例えば、予測演算を行う時点の擬似累積交通量の傾きを利用し外挿する方法や、予測時点までの情報を用いて自己回帰モデルを作成し、これを用いて予測する方法等が考えられる。しかしながら、渋滞発生時には、通過交通量自体が低下するため、擬似累積交通量の増加率も低下してしまう。図6においては、17時頃にこの現象が発生している。この場合、渋滞に対して擬似累積交通量の変化は緩めであるが、例えば2時間先といった長い将来の予測を行う場合、渋滞が発生すると思われる時刻の情報が得られない限り、予測時点までの情報で精度良く2時間先の擬似累積交通量を予測することは困難である。例えば、図6における16時までの情報で擬似累積交通量を予測する場合、17時頃の渋滞の発生が予めわからない限り18時までの予測はかなり難しい。しかしながら、16時の30分先程度であれば比較的予測がやり易いと考えられる。図5の関係を用いて渋滞時において30分程度のスパンで所要時間を予測した例を図7に示す。

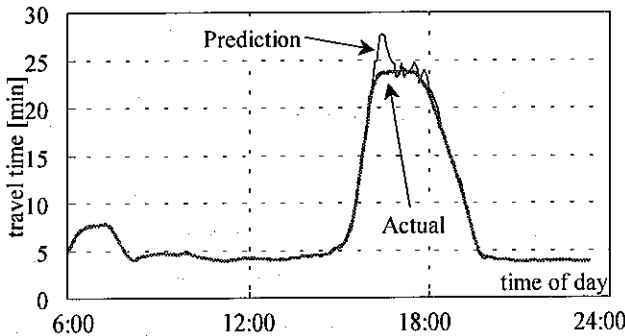


図7 擬似累積交通量を用いた所要時間予測結果例
Fig.7 Prediction result by using hypothetical cumulative trips

図7の結果からも、所要時間10分程度の場合の所要時間予測であれば擬似累積交通量を用いた予測は充分の精度と考えられる。この予測値を利用することで、10~30分程度先の所要時間の予測が可能となる。つまり、図8に示す様に、予測演算時刻T以降の対象路線内のいくつかの区間(図8では料金所E~F間等)を擬似累積交通量を用いて予測することにより、対象路線(図8では料金所A~F間)の所要時間の10~30分程度先の予測値(以後近未来所要時間と記す)の演算が可能となる。

以上の結果より、本研究では、類似パターン検索方式に予測当日の道路状況を反映させるために、擬似累積交通量を用いた10分程度先までの所要時間予測結果を利用することとした。ここで、類似パターン検索方式への適用の方法としては、様々な方法が考えられるが、本研究では類似パターンの比較に利用する予測当日の予測時点までの取得情報を有効に利用するため近未来所要時間予測値を用いた。図9に近未来所要時間予測値を利用した場合の類似パターン検索方式改良案の概要を示す。

改良前の類似パターン検索は、図9(a)の様に予測演算時点までに得られた所要時間を利用して実施する。これに対して、改良後の方法は、近未来所要時間の予測値が利用できることから、この分だけ類似パターン検索に利用できるデータが増え、より類似した傾向が見られるパターンの抽出が可能となると考えられる。特に、渋滞発生時からピークにおいては、所要時間の推移状況が変化するため、少しでも先の時刻の所要時間推移状況が分かった方がより類似したパターンの抽出が可能である。

この様に擬似累積交通量を用いて予測した結果から対象路線の近未来所要時間予測値を演算し利用する改良を行うことで、累積交通量は道路交通状況を反映したデータと言える。

フィールドデータを用いて改良後の類似パターン検索方式を検証した例を図10に示す。

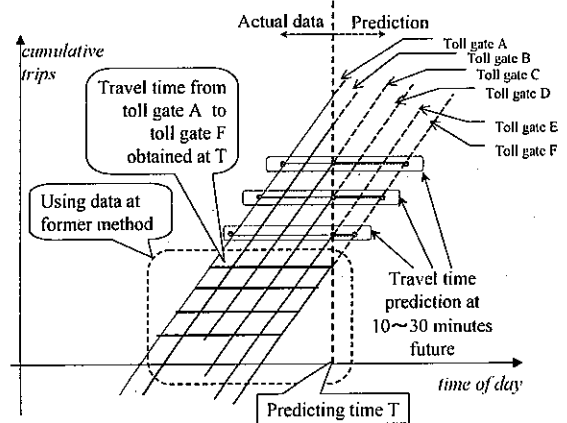
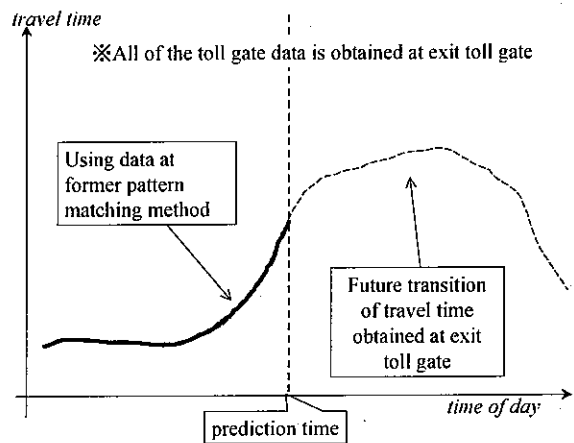
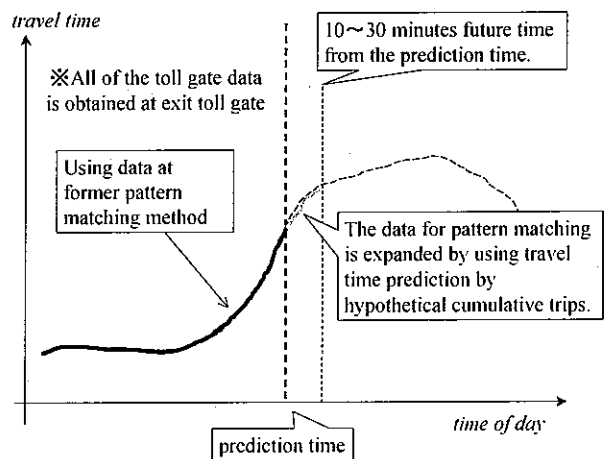


図8 擬似累積交通量を用いた近未来所要時間予測
Fig.8 Outline of travel time prediction at 10~30 minutes future by using hypothetical cumulative trips



(a) 従来の類似パターン検索方式(former method)



(b) 改良後の類似パターン検索方式(improved method)

図9 擬似累積交通量を用いた類似パターン検索方式の改良

Fig.9 Improvement of pattern matching method with hypothetical cumulative trips

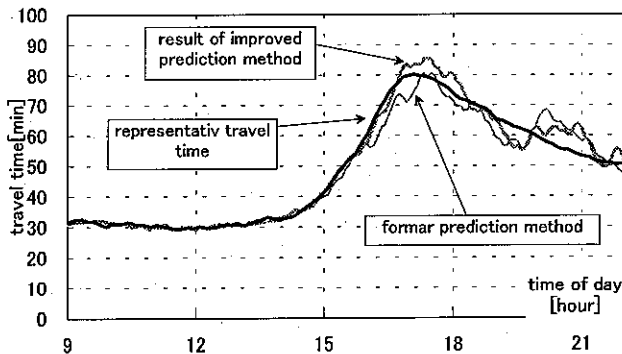


図10 改良後の類似パターン検索方式の予測結果
(その1)

Fig.10 Result of improved travel time prediction by using pattern matching method (example1)

図10は図3(b)で示した例と同じ日に対して、改良後の方式で予測を行ったものである。図3(b)では、過去パターンに類似したパターンが存在しないため、渋滞のピーク手前より予測誤差が目立ち始め、渋滞ピーク前後では、誤差 ± 10 [min]以内ではあるが、継続した誤差が生じている。しかしながら、改良後の方式では渋滞ピーク手前から渋滞解消にかけての予測精度に改善が見られる。これは、擬似累積交通量を利用して得られた近未来所要時間予測値を用いて類似パターン検索を行ったため精度改善が図れたと考えられる。

この様に、擬似累積交通量を用いた近未来所要時間予測値を使用することで、類似パターン検索による所要時間予測方式の精度向上が見られた。しかしながら、図10の結果では、改善が見られたが、この他に予測結果例として図11の様な改善が見られないケースもあった。

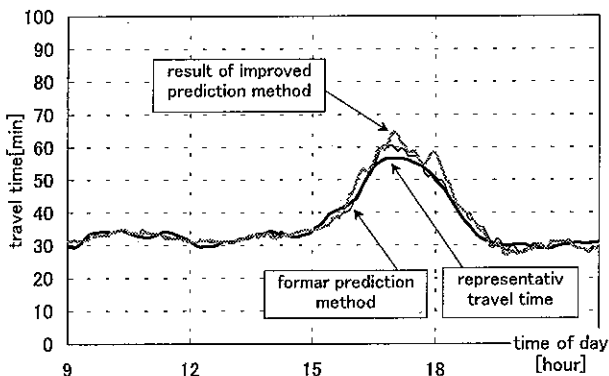


図10 改良後の類似パターン検索方式の予測結果
(その2)

Fig.10 Result of improved travel time prediction by using pattern matching method (example2)

図11では、若干ではあるが、改良後の方式の方が、改良前に比較し、渋滞ピーク以降に精度が悪化していることがわかる。この現象の原因を解析するために、対象路線内の全料金所間の所要時間を解析した。解析の結果、図8の料金所Eに相当する料金所で出口渋滞が発生しているらしいことが確認できた。このことから、料金所データから得られた擬似累積交通量を用いて当日道路交通状況を考慮すると、本来、高速道路本線走行には大きな影響を与えない途中の料金所での出口渋滞の影響が所要時間予測に反映され、予測精度低下の原因となることが考えられる。

以上のことから、擬似累積交通量を用いた道路交通状況を考慮した類似パターン検索方式に改良に関しては、料金所渋滞に注意が必要であることがわかった。従って、料金所渋滞が発生している場合は、従来の類似パターン検索方式をそのまま使用することが望ましいと考えられる。実システムへの適用では、以下の様なハイブリッド方式を採用することで、更に精度の良い所要時間予測が可能となると考えられる。

[ケース1] 料金所渋滞がない場合

擬似累積交通量を用いて道路交通状況を考慮した類似パターン検索方式を使用し所要時間を予測する。

[ケース2] 料金所渋滞が発生している場合

類似パターン検索方式を使用し所要時間を予測する。

(擬似累積交通量を用いた当日道路交通状況の考慮は行わない)

料金所渋滞の検出には、料金所手前に車両感知器を設置したり、他の料金所間の所要時間の差し引きと比較することから料金所渋滞と判断する方法が考えられる。

これらの対処を含め、類似パターン検索方式に対し、料金所渋滞が発生していない場合において当日の道路状況を考慮した改良を行うことで、所要時間予測精度を向上させることが可能となる。

5. まとめ

本研究では、高速道路における所要時間情報作成方法として、料金所データを用いた類似パターン検索による所要時間予測に注目し、その改良方法を検討してきた。ここで類似パターン検索は、過去の所要時間パターンを利用するものである。よって、これに累積交通量相当のデータを用いて当日の道路交通状況を反映するという改良を図った。

具体的には、料金所データから擬似累積交通量を演算し、これを用いて10分程度先の所要時間を予測し類似パターン検索に利用する方式を採用した。この改良方式に対し、フィールドデータにより検証を行った結果、以下の特徴および注意点がわかった。

- (1) 擬似累積交通量を用いた改良により過去の類似パターン検索用の蓄積パターンに類似したパターンがない場合において精度の改善が見られた。
- (2) 料金所データから得られる擬似累積交通量を利用することから、料金所渋滞が発生した場合、所要時間予測精度に悪影響を与えることに注意が必要である。

以上のことから、料金所データを用いた類似パターン検索による所要時間予測方式の場合、料金所渋滞が発生していることがわかっている場合は、擬似累積交通量による改良を行わない方式を利用し、料金所渋滞が発生していないことがわかっている場合は改良方式を利用するというハイブリッド方式が有効と考えられる。

これまで、料金所データを用いた所要時間予測方式の開発を行ってきたが、現段階である程度の目安がついたと考えている。よって、今後は、事故等の突発事象発生時のように、従来は有効な所要時間情報提供が困難であった場合の所要時間予測に取り組んでいきたいと考える。

謝辞

本研究に関し、フィールドデータをご提供いただいた日本道路公団に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 大場義和、上野秀樹、桑原雅夫：“料金収受システムデータを用いた走行所要時間予測方法の開発”、H13 年電気学会全国大会(2001-3)
- 2) 大場義和、上野秀樹、桑原雅夫：“料金収受システムデータを用いた走行所要時間予測方法の改良”、平成 14 年電気学会全国大会講演論文集[4], p. 370~371, 2002 年 3 月
- 3) Y.Ohba,H.Ueno,M.Kuwahara: “Verification of a Travel Time Estimation Method using Data obtained from the Toll Collection System”, IEE Japan, Vol.121-D, No.1, p.p.52 ~ 59,(2001-1)(in Japan)
大場義和、上野秀樹、桑原雅夫：“料金収受システムデータを利用した走行所要時間推定方法の検証”、電学論 D, 121, 1, p. p. 52~59, (2001-1)
- 4) 大場義和、上野秀樹、小山敏博、桑原雅夫：“料金収受システムデータを利用した走行所要時間予測方式の開発”、平成 14 年電気学会産業応用部門大会講演論文集[Ⅲ], p. 1275~1278, 2002 年 8 月

- 5) 上野秀樹、大場義和、桑原雅夫：“擬似累積交通量を用いた所要時間予測モデル”、道路交通研究会、2001 年 6 月、RTA-01-14