

プローブ軌跡データを用いた 交通事故発生時の旅行時間予測手法

三谷 卓摩¹・益田 卓朗²・永井 慎一³・今井 武⁴・桑原 雅夫⁵

¹正会員 東北大学大学院情報科学研究科助教 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-3-06)

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

²非会員 本田技研工業株式会社 (〒351-0188 埼玉県和光市本町8-1)

E-mail: hinichi_Nagai@hm.honda.co.jp

³非会員 本田技研工業株式会社 (〒351-0188 埼玉県和光市本町8-1)

E-mail: Takuro_Masuda@hm.honda.co.jp

⁴非会員 本田技研工業株式会社 (〒351-0188 埼玉県和光市本町8-1)

E-mail: takeshi.imai@icloud.com

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6-3-06)

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

本研究は、事故発生から車線規制が解除するまでの交通状況の変化をプローブ軌跡データにより把握することで、その区間の旅行時間の予測精度の向上について取り組んだものである。従来、事故時の交通情報は、直近で走行したプローブ車両の旅行時間しか利用できないことから、渋滞の延伸や解消の影響を反映したものにはなっておらず、旅行時間情報に誤差が生じている。そこで、本研究ではプローブ軌跡データを用いて、渋滞領域の延伸速度の推定手法を検討し、プローブデータの実測値との比較検証を行った。その結果、本研究の手法により推定された旅行時間は、直近で走行したプローブ車両の旅行時間と比較して精度が向上することを示すことができた。

Key Words : probe vehicle, travel time prediction, shockwave theory, incident detection

1. はじめに

リアルタイムにあがってくるプローブ車両の軌跡データを収集し、旅行時間として提供されるカーナビゲーションシステムが運用されている。このようなシステムから配信される旅行時間情報は、ドライバーのルート選択に対して有効である。

近年、旅行時間データの蓄積から過去の渋滞パターンを考慮する方法も開発されており、精度の高い予測を行うことが可能になっている。例えば、高速道路では、パターンマッチングを用いた方法¹⁾やパーティクルフィルタを用いたデータ同化方法²⁾などが提案されている。しかしながら、交通事故などの異常事象が発生した場合の旅行時間の変化は、蓄積情報が現実の渋滞の延伸および解消を反映したものにはならないため、予測精度が大きく低下していると考えられる。

そこで、本研究ではプローブ車両の軌跡データを用いた旅行時間予測手法を構築し、予測手法と実測値との比較検証を行うこととする。

2. プローブ軌跡データを用いた既存研究

本研究に関連するプローブ軌跡データを利用した研究を分類すると、異常事象の検知に着目したものと旅行時間の予測に着目したものに大別できる。

異常事象の検知に着目した研究として、Petty et al.³⁾は単一のプローブ軌跡データの加速度と速度を用いて検出を行う手法を提案している。牛木ら⁴⁾は衝撃波速度と3台のプローブ車両から異常事象を検出できる手法について提案し、シミュレータ実験によりその検証を行っている。これらの方法は事故検知に着目しており、旅行時間予測との関係については詳しくは述べられていない。White et al.⁵⁾は、車両に搭載されているスマートフォンを用いることで、事故を自動的に検知し、その情報を管制システムに送るシステムを提案している。しかしながら、このシステムは、事故の当該車両に導入されない限り検知を行うことはできないといった課題がある。

つぎに、旅行時間の予測に着目した研究として、

大畑ら⁶⁾は、プローブ車両の軌跡データに感知器の交通量データを組み合わせることで、衝撃波の延伸速度を予測し、旅行時間を算出する方法を提案している。Work et al.⁷⁾は、GPSからの速度データを高速道路上のネットワークで適用可能な速度進化モデルとして提案している。さらに、アンサンブルカルマンフィルタリングを用いて、速度進化モデルと速度データを同化し、旅行時間を予測する方法についても提案を行っている⁸⁾。Patire et al.⁹⁾は、GPSデータに感知器を融合した場合の所要時間推定精度に対して、定量的な評価を行っている。さらに、プローブ車両の軌跡データのサンプルレートと普及率の関係が旅行時間推定精度に及ぼす影響についても示している。しかしながら、これらの研究は、ネットワーク全体での旅行時間予測精度についてのみ示していることから、交通事故発生時といった特定の条件下での旅行時間予測精度については明らかにしていない。そこで、本研究ではプローブ軌跡データのみを用いて、短期間での旅行時間を推定することを目的とする。具体的には、渋滞領域の延伸速度である衝撃波速度の推定結果からの旅行時間予測手法を構築する。そして、構築した手法を実際に発生した高速道路での事故事例に適用し、比較検証を行うこととする。

3. 旅行時間予測手法

(1) 事故発生時の交通状況

図-1に交通事故時のタイムスペース図を示す。交通事故の発生は、事故地点の容量を低下させ、ボトルネックとなることで渋滞を発生させる。その渋滞は衝撃波となって下流側に延伸する。その後、事故処理が完了することで、容量の低下は改善し、解消波となって、渋滞は解消されることになる。

以上の現象により、渋滞の延伸を表す衝撃波と事故処理終了後の渋滞の解消を表す解消波と事故地点との間で渋滞領域が発生していることがわかる。この領域をプローブ車両が通過することによって渋滞領域の形状を把握することを試みる。特に、プローブ車両が自由流から渋滞流の断面を通過する衝撃波との交点、渋滞流から自由流の断面を通過するときの解消波との交点から波速度の予測を行う。

(2) 衝撃波速度の予測手法

衝撃波および解消波の伝播速度を予測する。本研究では、プローブ軌跡データの自由流領域と渋滞流領域の判別および事故発生地点は既知とし、推定を行う。図-2に衝撃波速度の推定図を示す。i番目のプローブ車両 P_i の軌跡データのうち、自由流から渋滞流へ移行した時の境界断面を $S_i(t_i, x_i)$ とする。いくつかの車両が境界断面を通過することから、最小二乗法により衝撃波速度 C_s を以下のように推定する。

$$C_s = \frac{n \sum_{k=1}^n t_k x_k - \sum_{k=1}^n t_k \sum_{k=1}^n x_k}{n \sum_{k=1}^n t_k^2 - (\sum_{k=1}^n t_k)^2} \quad (1)$$

ただし、 $n \geq 2$ かつ衝撃波速度 C_s の予測にはすべての境界断面 $S_i(t_i, x_i)$ を用いるのではなく、現在時刻 N_t からの閾値 α を設定し、条件 $N_t - t_i \geq \alpha$ を満たす t_i のみを用いて予測する。

(3) 旅行時間の推定手法

式(1)で求めた衝撃波速度 C_s を用いて旅行時間の推定を行う。図-3に旅行時間推定の図を示す。出発地を D_x 目的地を O_x とすると、 D_x から O_x の旅行時間 TT_i は、式(2)により求められる。

$$TT_i = V_f(\bar{s}x_i - D_x) + V_j(\bar{r}x_i - \bar{s}x_i) + V_f(O_x - \bar{r}x_i) \quad (2)$$

このとき、予測するプローブ車両の軌跡 \bar{P}_i と衝撃波の通過交点を $\bar{S}_i(\bar{s}t_i, \bar{s}x_i)$ とし、軌跡 \bar{P}_i と解消波の通過交点もしくは事故地点との通過交点を $\bar{R}_i(\bar{r}t_i, \bar{r}x_i)$ とする。 V_f は自由流の平均速度、 V_j は渋滞流の平均旅行速度としてあらかじめ計算しておく。 \bar{S}_i は、時刻 D_{ti} での衝撃波速度 $C_{s,ti}$ と V_f により算出可能であり、 \bar{R}_i も同様に算出可能である。

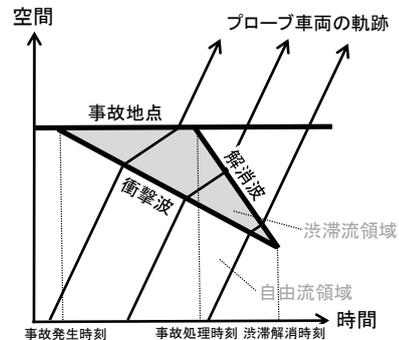


図-1 交通事故時のタイムスペース図

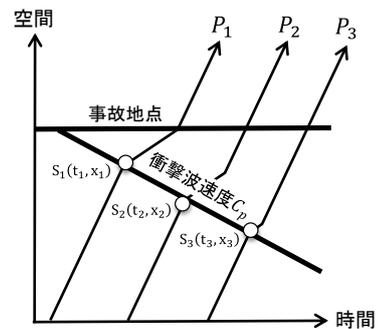


図-2 衝撃波速度の推定図

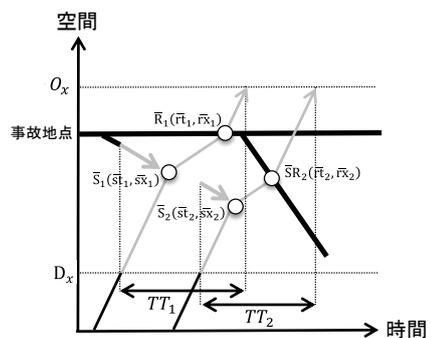


図-3 旅行時間の推定図

4. 交通事故発生事例による予測精度の検証

(1) 使用データ

ケーススタディとして、高速道路上での交通事故発生時の所要時間予測精度の検証をプローブ軌跡データを用いて行う。図-4に交通事故の発生地点を示す。事故発生場所は、東北自動車道（下り）白石ICから蔵王PA間であり、303.3KPにあたる。事故発生時刻は2013年8月13日6時15分で、車線規制時間帯は6時27分から8時27分までの2時間である。プローブ車両の軌跡データは、ホンダイインターナビのFCDデータを利用する。FCDデータは、3秒間隔で取得され、その項目は車両ID、時刻、緯度、経度、速度、方向から構成されている。図-5に事故発生時のプローブ軌跡データの実測値を示す。車両ごとに取得位置をつなぐことで、詳細な軌跡を把握することができる。

(2) 衝撃波速度の推定結果と考察

プローブ軌跡データの自由流領域と渋滞流領域の判別および事故発生地点は既知として、式(1)の方法を用いて衝撃波速度の推定を行う。図-6に衝撃波速度の推定結果を示す。zについては20分と30分の2ケースについて計算を行う。20分では、30分の場合と比較して、速度が不安定になることがわかる。プローブ車両数が少ないこと、プローブ車両の時間的な偏りから不安定になると考えられる。

(3) 旅行時間の推定結果と検証

前節で推定した衝撃波速度を用いて、270KPから305KPまでの旅行時間を予測する。事故発生地点および事故処理時刻、解消波速度は既知として、予測を行う。解消波速度は事故処理時刻から渋滞解消時刻までの解消波の平均値から13.6km/hとする。推定結果の比較対象は、プローブ軌跡データをマップマッチングして旅行時間を算出した同時刻和を用いることとする。その結果を図-7に旅行時間の推定結果を、表-1に旅行時間の推定精度について示す。比較指標は、RMSEと%RMSEを用いている。提案手法と同時刻和を比較すると、時間で10分程度、割合で半分程度に誤差が小さくなっており、精度がよくなったことがわかる。

4. おわりに

本研究の手法により推定された旅行時間は、直近で走行したプローブ車両の旅行時間と比較して精度が向上することを示している。しかしながら、本研究で用いた手法は、単一ケースでの比較結果であること、事故検知や事故処理時刻の推定など、多くの課題が残されている。

今後の課題としては、他の多くの事例での適用、プローブ利用率の違いによる推定精度の違い、推定手法の改良等を行っていきたい。



図-4 交通事故の発生地点

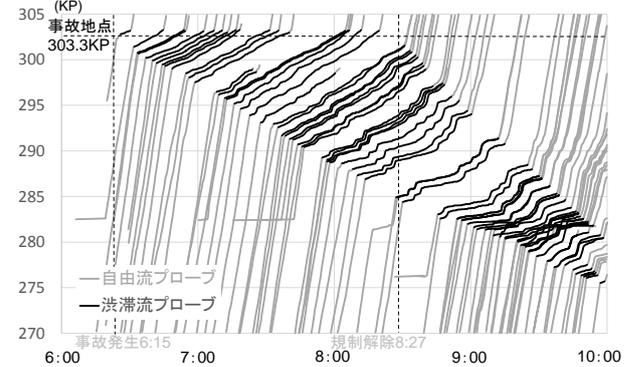


図-5 事故発生時のプローブ軌跡データの実測値

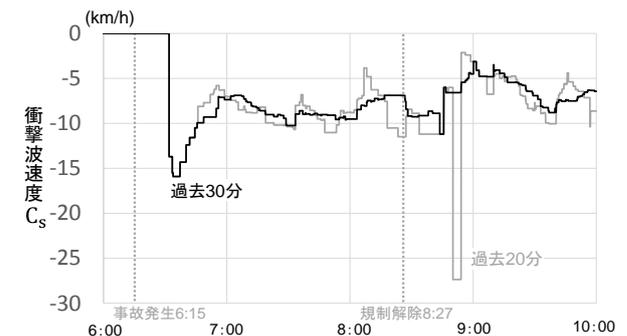


図-6 衝撃波速度の推定結果

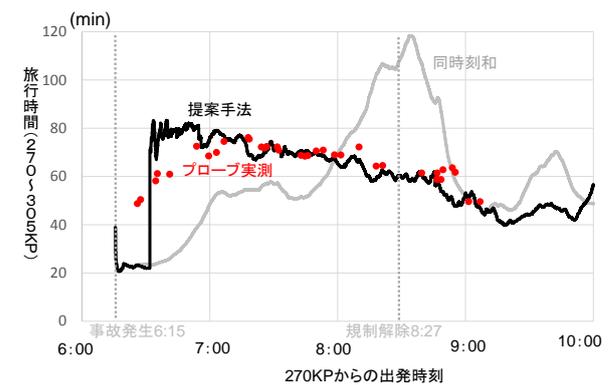


図-7 旅行時間の推定結果

表-1 旅行時間の推定精度

	RMSE(min.)	%RMSE
同時刻和	21.5	32.9
提案手法	9.7	14.9

謝辞：本研究をすすめるにあたり、オリエンタルコンサルティングの大畑長氏から貴重なご意見をいただいた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 割田博, 森田紳之, Chung, E., 田中淳: パターンマッチングを用いた所要時間予測手法の研究, 交通工学研究発表会論文報告集, Vol.24, pp.129-132, 2004.
- 2) Chen, H., Rakha, H.A.: Real-time travel time prediction using particle filtering with a non-explicit state-transition model, *Transportation Research Part C*, Vol.43, pp.112-126, 2014.
- 3) Petty, K. F., Skabardonis, A. and Varaiya, P. P. : Incident detection with probe vehicles: performance, infrastructure requirements and feasibility, feasibility. Proc. of the IFAC Transportation Systems Conf., Vol.8, pp.125-130, 1997.
- 4) 牛木隆匡, 日下部貴彦, 朝倉康夫: 衝撃波速度を用いたプローブカーデータによる突発事象検出手法, 土木計画学研究・講演集, Vol.49, 2014.
- 5) White, J., Thompson, C., Turner, H., Dougherty, B. and Schmidt, D.C.: WreckWatch: Automatic Traffic Accident Detection and Notification with Smartphones, *Mobile Networks and Applications*, Vol.16, No.3, pp.285-303, 2011.
- 6) 大畑長, 桑原雅夫, 阿部重雄, 安齋潤也, 鎌田恭典, 今井武: プローブデータを活用した都市間高速道路上の異常事象に起因する交通状態への影響把握, 土木計画学研究・講演集, vol.49, 2014.
- 7) Work, D. B., Tossavainen, O.P., Blandin, S., Bayen, A.M., Iwuchukwu, T. and Tracton, K.: An ensemble Kalman filtering approach to highway traffic estimation using GPS enabled mobile devices, in *Proc. IEEE Conf. Decision Control*, Vol.47, pp.5062-5068, 2008.
- 8) Work, D. B., Blandin, S., Tossavainen, O. P., Piccoli, B. and Bayen, A.M.: A traffic model for velocity data assimilation, *Applied Mathematics Research eXpress*, No.1, pp.1-35, 2010.
- 9) Patire, A. D., Wright, M., Prodhomme, B. and Bayen, A.M.: How much GPS data do we need?, *Transportation Research Part C*, 2015.