

高速道路における突発事象発生時の旅行時間予測 アルゴリズムの開発

大場 義和^{*1} 上野 秀樹^{*1} 割田 博^{*2} 森田 綽之^{*3} 桑原 雅夫^{*4}

株式会社 東芝^{*1}

首都高速道路株式会社^{*2}

日本大学^{*3}

東京大学^{*4}

高速道路の旅行時間情報に関しては様々な研究がなされているが、利用者ニーズの高さにも関わらず事故等の突発事象発生時を対象にしたものは少ない状況である。そこで本研究では、突発事象発生時の取得情報をもとに、統計的手法をベースとした突発事象発生時旅行時間予測アルゴリズムの開発に取り組んだ。本アルゴリズムは、突発事象発生時点において、統計手法の一つである判別分析により従来方式での対応の可否を判断し、可能でない場合に多項式モデルによる予測を行っている。更に、過去の実績データを用いて本アルゴリズムの検証を行ったのでこれに関して報告する。

A development of travel time prediction algorithm during incident on expressway

Yoshikazu Ohba^{*1} Hideki Ueno^{*1} Hiroshi Warita^{*2} Hirohisa Morita^{*3} Masao Kuwahara^{*4}

Toshiba Corp.^{*1}

Metropolitan Expressway Public Corporation^{*2}

Nihon University^{*3}

University of Tokyo^{*4}

Although there are many studies about travel time prediction, most of the studies are for normal traffic condition. However, there is a need to develop a model to predict travel time during incident. In this paper, we propose to a travel time prediction algorithm during incident by using stochastic theory. This algorithm consists of classification of incident case by using discriminant analysis and prediction by using polynomial models. Furthermore we analyze this algorithm by using the actual data.

Keyword: travel time, incident, discriminant analysis, polynomial model, expressway

1. はじめに

現在、高速道路においては、様々な旅行時間情報（出発地点から目的地点までの走行に要する時間に関する情報）の提供が行われている。提供方法としては、路側の可変情報板や、ホームページを利用するもの等がある。この様に、様々な方式で提供されている旅行時間情報は、ドライバの旅行計画作成の参考になる他、ドライバの心的負担を軽減する等の理由から重要な情報と位置付けられる。

現状提供されている旅行時間情報は、演算方法がシンプルであるという利点を有する。しかしながら、情報提供直前の5分間計測値から演算された情報を提供しているため、道路交通状況が急激に変化する場合には遅れを伴うケースがみられる¹⁾²⁾。また筆者らも過去に旅行時間情報の作成に関する様々な研究を実施してきたが、これらは交通需要の集中等による渋滞を対象としており、事故等の突発事象発生時は対象外としていた³⁾。しかしながら、突発事象発生時こそ旅行時間情報が必要であるという声もある。

この様な背景のもと、筆者らは、突発事象発生時の道路交通状況の分析を行い⁴⁾⁵⁾、突発事象発生時における旅行時間予測アルゴリズム開発に取り組んできた。本アルゴリズムの主たる特徴は、以下である。

- ・ 現行方式を有効利用する。
- ・ 統計的手法を利用することにより、突発事象発生時の旅行時間予測精度を向上させる。

更に、都市高速道路の過去の実績データを用いて、本アルゴリズムの検証を行った。本論文では、これらに関して報告する。

2. 対象道路と現行旅行時間情報

2-1 対象道路

本研究は高速道路、特に首都高速道路を対象とし、首都高速道路のデータを利用した。

現在、首都高速道路は東京都をはじめとする1都3県をまたぐ路線総延長約280km、1日の利用台数約114万台の大規模な道路ネットワークを構成する首都圏の大動脈である。このため、しばしば渋滞が発生しており、ドライバへの交通情報の提供は重要なサービスとなっている。

また、本研究では、利用可能データとしては、以下を想定した。

- (1) センサ（車両感知器）から得られるデータ
 - ・ 交通量、平均速度等の道路交通データ（5分

周期）

(2) 突発事象に関するデータ

- ・ 突発事象発生年月日及び時刻データ、突発事象発生位置、突発事象発生時刻、車線閉鎖の有無

2-2 現行旅行時間情報

旅行時間情報は、現行では、路側に設置されているセンサの計測値を利用し、対象道路を複数の区間に分割した場合の各区間の旅行時間を演算後、合計することで演算されている。この現行方式は、同じ時刻の各区間の旅行時間を合計するため、同時刻和旅行時間と呼ばれる場合もある。この同時刻和旅行時間では、先に記したように、事故時等の道路交通状況が急激に変化する場合、遅れを伴うケースが見られ、改善の余地がある状況である。

しかしながら、現行方式は演算方法がシンプルであり、多くの稼働実績があることもあり、可能であれば、有効利用することが望まれる。

3. 突発事象発生時旅行時間予測アルゴリズム

3-1 予測アルゴリズムの流れ

過去の分析結果⁵⁾から、突発事象発生時においても、約4割程度のケースは現行方式である同時刻和旅行時間にて問題ない精度（誤差が±10分以内¹⁾）であることがわかった。よって、現行方式と、現行方式で改善が必要であるケース用の予測方式を組み合わせることで、図2の様な突発事象発生時用旅行時間予測アルゴリズムが構築可能である。

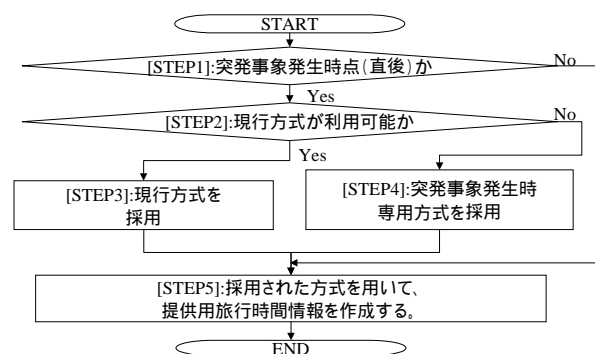


図1 突発事象発生時旅行時間予測の流れ

図1の流れを、事故時等の突発事象時に実施することで、突発事象時の旅行時間予測が可能である。

ここで、本研究では、突発事象発生時点において、現行方式が利用可能か否かを判断し(図1の[STEP2]に相当)、この結果をもとに、突発事象対処時間中は、図1の[STEP3]もしくは[STEP4]にて採用された方式にて予測を行うこととした。更に、図1の[STEP2]

の現行方式が利用可能なケースかどうかの判断においては、統計手法である判別分析による判別式を用いた⁶⁾。また、図1の[STEP4]の突発事象発生時専用方式としては、多項式モデルによる予測を利用した⁷⁾。

3-2 突発事象発生ケースの分類

ここでは、突発事象発生時点における現行方式利用可能可否の判別方法に関して、統計的手法である判別分析を用いた方法に関して記す。

突発事象発生時の分類においては、以下のデータが利用可能と考えた。

【利用可能データ】:

現行旅行時間情報，突発事象発生時刻，
車線閉鎖有無，交通量，密度

更に、現行方式が利用可能かどうかの判断に関しては以下に記す判断基準を利用した。

【現行方式利用可否判断基準】:

突発事象発生～解消までの間（突発事象対処時間帯）の誤差の絶対値を用いて以下の様に判断する（図2参照）。

- ・ 誤差絶対値が全て 10 分以内：現行方式利用可。
 - ・ 誤差絶対値が 10 分より大：現行方式利用不可。
- 誤差 = 現行方式演算値 - 実績旅行時間

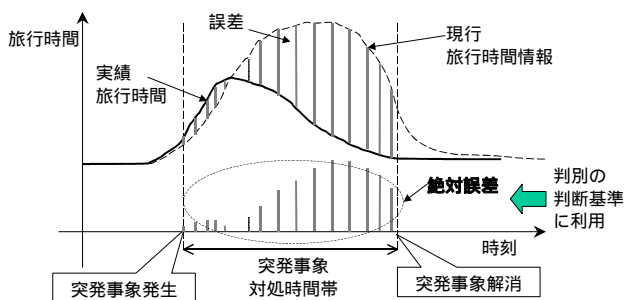


図2 旅行時間誤差の考え方

ここで、実績旅行時間としては、道路交通状況の時間的変化を考慮した演算方法である走行軌跡法⁸⁾で演算した結果を用いた。

これらの判別に関しては、本研究では、前記した利用可能データを説明変数とし、統計的手法である判別分析を用いることで、現行方式利用の可否判別を行うこととした。

3-3 多項式モデルによる予測

ここでは、図1の[STEP4]にて利用する突発事象発生時専用の多項式モデルによる旅行時間予測方式に関して記す。

多項式モデルは、突発事象対処時間帯において、5分刻みの予測演算周期毎に予測演算を行う際に利用する。

多項式モデルは、2-1 節にて記した利用可能なデータに“突発事象発生からの経過時間”等を加えた以下の形式の多項式を用いた。ここで、パラメータは統計的手法にて決定したものをを用いることとした。

突発事象発生時旅行時間予測用多項式

所要時間[T+t]

$$= f(\text{曜日}, \text{天候}[T+t],$$

突発事象発生時刻, 突発事象発生位置,
突発事象発生からの経過時間

[T+t](分),

車線閉鎖有無[T+t](0or1),

各区間交通量[T+t](台/5min),

各区間平均速度[T+t](km/h),

現行旅行時間情報[T+t](分))

注1：[]内の値はデータの時点を表し、Tは突発事象発生時刻、tは突発事象発生時刻からの経過時間を表す。

注2：“曜日”は予測当日のデータ，“天候”は予測時点で利用可能なデータとする。

注3：“曜日”、“天候”、“突発事象発生位置”、“突発事象発生時刻”に関しては、数量化類の取り扱いで、ダミー変数として取り扱った。

ここで、各区間交通量、各区間平均速度に関しては、隣接する区間のデータは相関が強くなってしまいうため、路線内の代表する4区間のデータのみを利用することとした。具体的には、相関を低くするために、ある程度距離が離れた4区間のデータを利用することとした。

また、道路交通状況を解析した結果⁷⁾、渋滞の傾向に基づき、今回は以下の様に設定し、2種類の多項式を作成し利用することとした。

(1) 渋滞延伸傾向時：突発事象発生時点から30分

経過までの時間帯

(2) 渋滞解消傾向時：突発事象発生後30分経過以降の時間帯

多項式モデルの種類に関しては、対象の路線の渋滞の傾向に応じて、分類方法等が異なると考えられるが、今回は、前述の(1)、(2)の2種類の多項式を利用することとした。

4. 実績データによる検証

4-1 利用データ

本研究では、首都高速3号渋谷上り線（全長約12km）の過去の連続した1年間分のデータに対して、特異データ除去を施した後のデータを用いた。

この路線は首都高速道路管制システムにおいて17の区間に分割されており、このうち、ジャンクション等を除いた連続する14区間を旅行時間予測の対象とする。特に、今回の研究では、対象路線において旅行時間への影響が大きいと考えられる、最下流2区間にて突発事象が発生した場合のデータを用いて解析を行った。

解析に際しては、1年間分のデータをランダムに2グループに分割し、片方のグループのデータを用いて判別式、多項式を作成し、もう片方のグループのデータにて試行を行うこととした。

4-2 実績データによる試行結果

(a) 突発事象発生ケースの分類結果

4-1節の実績データを用いて、3-2節にて説明した判別方法を試行した。その結果を表1に記す。

表1 判別分析により突発事象発生時における現行方式利用の可否判別を試行した結果

	項目	正答	誤答	正分類比率
判別式作成に利用したデータに対する判別結果	0	17	4	83.10%
	1	42	8	
試行用データに対する判別結果	0	15	3	84.51%
	1	45	8	

項目における0, 1に関して
 0: 現行方式利用可のケース
 1: 現行方式利用不可のケース

表1より、試行用データに関しても、約85%の割合で正しく分類できていることが確認できた。

(b) 多項式モデルによる予測結果

4.2節(a)の結果をもとに、表1における太枠部分48ケース（図1 [STEP2]の段階で、現行方式利用不可と判断されたケース）に対して、3-3節の多項式

モデルを適用し予測を行った。予測に利用した多項式モデルは、多項式モデル作成用データに対して、以下の相関を持つ多項式モデルを利用した。

- (1) 渋滞延伸傾向時： 重相関係数 0.884
- (2) 渋滞解消傾向時： 重相関係数 0.845

多項式モデルを利用し、試行用データに対して旅行時間を予測した結果を図3に示す。

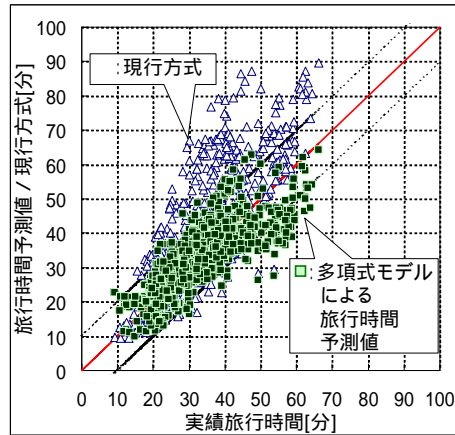


図3 多項式モデルによる突発事象発生時旅行時間予測結果

図3の予測は、突発事象対処時間帯全ての予測演算周期(5分間毎)に予測を実施したものである。図3からもわかるように、全般的に現行方式より改善していることがわかる。数値的には、48ケース予測機会595回に対して、595回中約84% (499回)が誤差±10分以内という結果が得られた。

また、多項式モデルによる予測値の時系列推移状況(突発事象対処時間帯)の例を図4~6に示す。

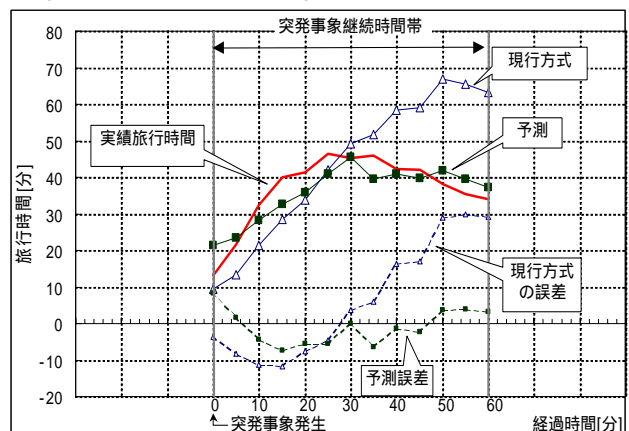


図4 多項式モデルによる突発事象発生時旅行時間予測結果時系列推移状況の例(その1)

図4は予測が良好であった例である。渋滞延伸時、解消時に良好に予測されており、現行方式に比べ、改善している様子が確認できる。予測精度も、突発事象対処時間帯中を通じて、 ± 10 分以内の予測誤差という結果が得られた。

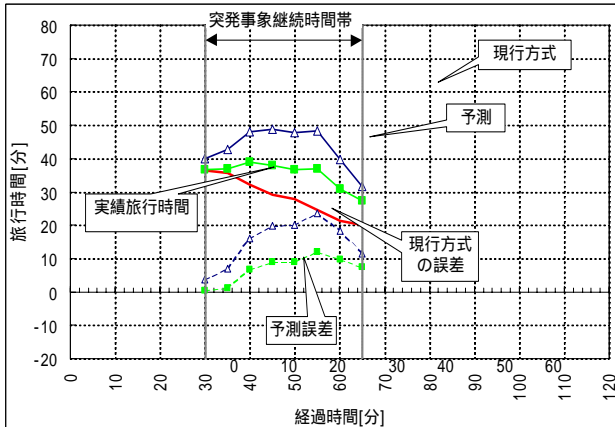


図5 多項式モデルによる突発事象発生時旅行時間予測結果時系列推移状況の例(その2)

図5は、現行方式に比べ、改善はしているものの、 ± 10 分を超える予測誤差が発生しているケースである。これは、図5の実績旅行時間の推移からわかるように、渋滞の解消の最中に突発事象が発生したケースであり、比較的にまれなケースである。先にも述べたように、本研究では、突発事象継続時間帯における道路交通状態推移の傾向を、渋滞延伸傾向時と、渋滞解消傾向時の2種類に分け、それぞれに対して多項式モデルを作成し対応している。

よって、図4の様に渋滞の延伸・解消が顕著に現れるケースは良好な予測精度が得られるが、図5の様なケースでは精度に改善の余地が見られる。しかしながら、この様なケースは、渋滞の増減傾向に応じた多項式モデルを数種類作成しておき、渋滞傾向に応じて利用することで改善すると考えられる。

図6は、突発事象発生時から30分程度は渋滞延伸傾向で多項式モデルが想定しているものであるが、突発事象発生から30分後以降も引き続き渋滞状況が停滞している。よって、突発事象発生時から30分までは良好な精度が得られているものの、それ以降は現行方式の方が良好な状況である。この様なケースはごくまれに発生するケースであるが、この様なケースに対応した多項式モデルを作成しておき利用することで、改善が可能と考えられる。

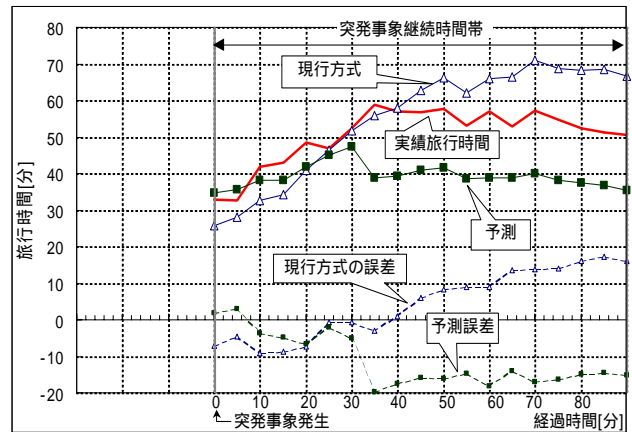


図6 多項式モデルによる突発事象発生時旅行時間予測結果時系列推移状況の例(その3)

(c)全体としての予測結果

ここでは、(a)の突発事象発生ケースの分類により現行方式を採用したケースと、多項式モデルで予測を行ったケース((b)の予測結果)を取りまとめ、図1における全体のアルゴリズムとして予測を行った結果を示す。

予測タイミングとしては、突発事象発生から解消までの時間帯において5分毎に予測を実施することとしているため、全体としては、71ケース中に予測機会831回の予測タイミングが存在する。予測誤差の観点から、予測結果として、予測機会831回の予測演算の内、約85%(709回)が誤差 ± 10 分以内という結果が得られた。この場合の誤差頻度分布を図7に示す。また、比較の対象として、現行方式の場合の誤差の度数分布を図8に示す。現行方式の場合、約70%(587回)であり、約15%の改善が見られた。

図7, 8から、今回採用した予測アルゴリズムを用いることで、誤差10分以上の度数が、現行方式に比較して改善していることが確認できる。

更なる予測精度の改善方法としては、4-2(b)で述べた様に、多項式モデルを改良する方法が考えられるが、これとは別に、表1に示した判別分析の精度向上が考えられる。表1からもわかるように、現行方式にて、 ± 10 分を超える誤差が発生しているにもかかわらず、多項式モデルによる予測が不要と判断されたケースが8ケース存在している。判別分析の正答率を向上させ、この様なケースをなくすことで、全体の予測精度の向上も図られると考えられる。

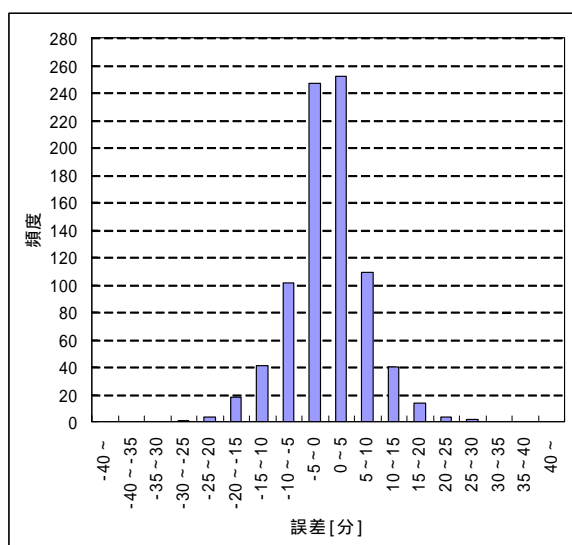


図7 突発事象時旅行時間予測アルゴリズムによる旅行時間予測誤差の度数分布

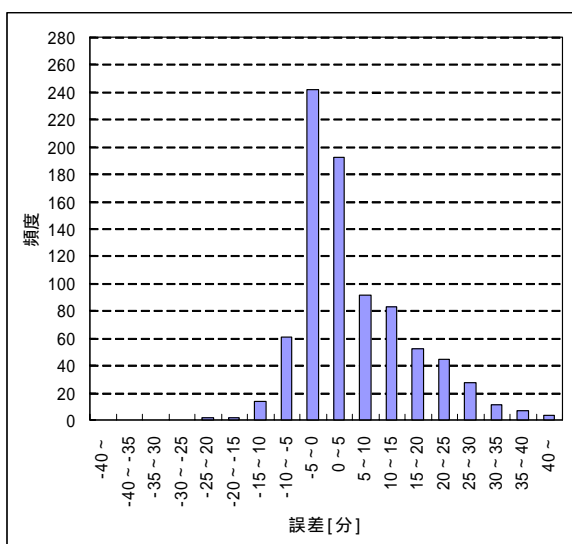


図8 現行方式による旅行時間誤差の度数分布

5. おわりに

本論文では、突発事象発生時における旅行時間予測アルゴリズムにおいて、

現行方式(同時刻和旅行時間)を有効活用する、統計的手法を利用する、

ことをポイントとした予測アルゴリズムを紹介した。

に関しては、統計的手法である判別分析を用いて、現行方式が利用可能かどうかの判断を行い、利用可能な場合は現行方式を利用することとした。

に関しては、現行方式が利用不可の場合に対して、統計的手法にてパラメータを決定した多項式モデルを用いた予測方式を採用し予測を行うこととした。

これらを用いたアルゴリズムに対して、実績デー

タを用いて試行した結果、突発事象発生時間帯においても、約85%が誤差±10分以内で旅行時間を予測できることがわかった。

しかしながら、判別分析において正分類率が約85%程度である、多項式モデルにおいても誤差±10分以内は83%程度である等、改善の余地が残されており、この正分類率、多項式モデルの精度を向上させることで、更なる旅行時間予測値の精度向上が期待できる。今後は、判別分析の精度向上、多項式モデルの精度向上を行うとともに、更なる検証を進めていく。

参考文献：

- 1) Warita, Okada, Tanaka: "Evaluation of Operation for Travel Time Information on The Metropolitan Expressway", 第8回 ITS 世界 会議シドニー, 2001-10
- 2) 齋藤, 割田, 田中: 「事故・工事時における旅行時間予測手法に関する研究」, 第22回交通工学研究発表会, 2002-10
- 3) 上野, 大場, 桑原: 「料金所データを用いた旅行時間予測方式の比較」, 第1回 ITS シンポジウム, 2002-12
- 4) Hideki UENO, Yoshikazu OHBA, Hiroshi WARITA, Hirohisa MORITA and Masao KUWAHARA, "A Study on Travel Time prediction using Cumulative Curves during Incident Occurrence on the Metropolitan Expressway", 10th ITS World Congress, Madrid Spain, 2003-10
- 5) 大場, 上野, 割田, 森田, Edward, 桑原: 「突発事象発生時の旅行時間情報に関する一考察」, H16年電気学会全国大会, 2004-3
- 6) 大場, 上野, 割田, 森田, 桑原: 「旅行時間予測における突発事象発生ケースの分類に関する一考察」, H18年電気学会全国大会, 2006-3
- 7) 大場, 上野, 割田, 森田, 桑原: 「突発事象発生時の走行所要時間予測における多項式モデルの適用に関する検討」, 電機学会 ITS 研究会, ITS-05-17~21, 2005-6
- 8) 大場, 上野, 桑原: 「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」, 電気学会論文誌産業応用部門誌, Vol.121-D, No.1, 2001-1