

ETC2.0 データを用いた交通事故の要因解析

高山 莉那¹・塚井 誠人²・山本 航³・山本 優樹⁴

¹正会員 広島市役所中区役所建設部地域整備課 (〒730-8587 広島県広島市中区国泰寺町 1-4-21)

E-mail: takayama-r@city.hiroshima.lg.jp

²正会員 広島大学大学院准教授 工学研究院社会環境空間部門 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1)

E-mail: mtukai@hiroshima-u.ac.jp

³正会員 広島大学大学院研究員 工学研究院社会環境空間部門 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1)

E-mail: wataruy9@hiroshima-u.ac.jp

⁴学生会員 広島大学大学院 工学部研究科 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1)

E-mail: ml175895@hiroshima-u.ac.jp

交通事故は平成 18 年から 10 年間で約 44%減少したのに対し、高速道路上では毎年 1 万件程度で推移しており、新しい対策が求められる。一方、近年、プローブデータの収集が可能となり、交通状況を詳細に把握することが可能となった。本研究では、事故データにプローブデータを組み合わせ、交通事故の要因解析を行った。まず事故データ、トラフィックカウンターデータ、ETC2.0 データの 3 種類の統計データを用いて、交通状況を表す変数を作成した。区間別の事故発生と作成した変数を組み合わせたデータベースを用いて、ロジスティック回帰モデルを推定し、事故発生に影響を及ぼす要因を明らかにした。さらに、交通事故の深刻度を独自に定義して、この事故データと事故発生時の周辺車両の特徴を表す変数を用いて、オーダードプロビットモデルによる分析を行った。

Key Words: probe data, traffic counter data, logistic regression model, ordered probit model

1. はじめに

国内の交通事故は、2016 年には死者数 3,904 人、死傷者数は 62 万 2,757 人と 12 年連続で減少傾向にあるが、高速道路における交通事故は、増減を繰り返している。交通事故は直接的な人命損失ばかりではなく、経済損失、エネルギー損失や排気ガスによる大気汚染といった間接的な損失を社会に引き起こす。交通事故によるこれらの被害を軽減するためには、事故を引き起こす要因、あるいは被害の程度に影響を及ぼす要因の把握が重要である。

近年「交通ビッグデータ」が注目を浴びている²⁾。ビッグデータは従来のデータと違い、容量が巨大であるだけでなく、種類が多様で、更新頻度が高いという特徴がある。交通事故研究や事故対策の観点からは、新旧の交通データを組み合わせること、つまり、事故データに交通分野のビッグデータを組み合わせることで、新たな交通事故の要因解析につながる可能性がある。交通分野で代表的なビッグデータとしては、トラフィックカウンター（以下、トラカン）が知られてお

り、交通量の変動特性を分析する研究³⁾などに用いられてきた。さらに近年では、2011 年より本格導入された ETC2.0 データが注目されている。ETC2.0 対応車載機搭載車両からは、GPS による車両の走行経路や瞬間速度などの詳細な走行履歴（プローブ情報）が得られるようになった。その取得間隔は 100m、または 200m であり、プローブ情報を連続的、かつ大量に取得できる⁴⁾。この取得間隔は、出入のインターチェンジしかわからない従来の ETC や、路側の固定点でしか情報が得られないトラカンよりもはるかに短い。2018 年 3 月末時点で、ETC2.0 の搭載率は全国で約 3.19%と低い⁵⁾が、既往研究⁷⁾では、ETC2.0 は他のプローブ情報のように車種や用途の限定がなく、データを大量に取得できる利点が指摘されている。

以上の動向をふまえると、ETC2.0 対応車載機搭載車数の乏しさには留意する必要があるものの、ETC2.0 の情報を活用すれば、従来のトラカンデータよりも、時間や場所に関してより詳細に交通状況を把握できる。本研究では、複数の統計データを併用して、新たに高速道路上での事故要因の候補となる変数を作成して、

交通事故の要因解析を行う。具体的には、事故データ、トラカンデータ、ETC2.0 データ、道路線形データの 4 種類の統計データを用いて、高速道路上の区間ごとの特徴を表す変数を作成し、事故の発生に影響を及ぼす要因を明らかにする。さらに、交通事故時の周辺環境や交通状況を表す変数を作成し、事故の深刻度に影響を及ぼす要因を明らかにする。

2. 既往研究のレビュー

(1). ETC2.0 を活用した研究

増本ら⁸⁾は、ETC2.0 データにより、10m 単位での空間的速度変化を算出し、その地点前後の道路構造をふまえて、渋滞の原因となる微小な速度低下の特徴を分析した。その結果、勾配が大きい箇所や分流地点で微小な速度低下が起きることを明らかにした。末成ら⁷⁾は、ETC2.0 データから得られる経路データを用いて、ある起終点間における実際の道路の経路選択の把握を試みた。その結果、多くのドライバーが旅行時間最短経路を選択していることを明らかにした。北川ら⁹⁾は、ETC2.0 データを活用し、中国自動車道の連休中における渋滞の起終点位置や所要時間、渋滞に巻き込まれた車両の割合などの渋滞状況の分析を行った。この研究では、従来のデータでは観測が困難であった速度 20km 未満の地点を可視化している。

葛西ら¹⁰⁾は、ETC2.0 データから得られる速度とマイクロ交通流シミュレーションを組み合わせ、片側 1 車線道路のトラフィック機能を表すサービス指標として一般的な、追従時間率および追従車密度を推定した。提案手法は、空間的に連続する区間についてこれらの指標が推定できる。この研究では、付加追越車線の効果を明らかにした。鹿谷ら¹¹⁾は、トラカンの大型車交通量データと ETC2.0 搭載大型車のデータの比率に着目し、ETC2.0 を搭載していない大型車の通行経路を推定する方法を提案した。成嶋ら¹²⁾は、トラカンデータと ETC2.0 データを紐づけることで、暫定 2 車線区間における速度変動やその要因について分析を行った。その結果、サグや上り坂で速度低下が起り、交通量が多いほど顕著に速度低下が表れることが分かった。

以上より、交通分野のビッグデータのひとつである ETC2.0 データは、近年多くの研究で活用されている。その特徴は、従来のトラカンデータでは、IC 間など長い区間でしか分析できなかった旅行速度が、ETC2.0 データでは取得間隔が短いことであり、同データを用いれば、詳細な区間の分析ができる可能性がある。さらに ETC2.0 データは、車種や用途の限定がなく、幅広い車種や用途の車両に関する情報が得られるほか、連続

的にプローブデータが大量に得られる ETC2.0 データに、従来の手法やその他のデータを組み合わせることで新たな知見が得られる可能性がある。

(2). 交通事故要因に関する研究

高島ら¹³⁾は、複数の交差点を対象として、試験車および路側に設置したビデオにより計測した走行データを分析した。その結果、交差点では速度やブレーキの使用状況などの運転挙動の変動が大きいこと、ならびに車間距離が短い箇所では交通事故が発生しやすいことが明らかとなった。野田ら¹⁴⁾は、1 台の試験車の複数回走行により得られた速度データから、道路・交通条件、および個人特性と加減速変動の関係を明らかにして、交通事故との相関を求めることにより交通事故多発区間の予測が可能であることを示した。

三浦ら¹⁵⁾は、サグ部を対象にトラカンデータを用いて追突事故リスクの分析を行い、事故が起りやすい交通流状態を明らかにした。兵頭ら¹⁶⁾は、交通流状態が事故発生リスクに与える影響を分析した。その結果、自由流と渋滞流が混合する混合流状態で事故発生確率が高いこと、および交通流別に事故発生リスクの傾向が異なることを示した。

多田ら¹⁷⁾は、高齢者と非高齢者の違いに着目して、5 年間の事故データを分析し、高齢者が引き起こす事故の要因の特有な組合せパターンの抽出を試みた。事故データの各記載項目を要因として、要因同士の組合せパターンの出現頻度を調べ、高齢者と非高齢者との間に有意差があるパターンを抜き出したところ、料金所のゲート手前のパターンに違いが見られた。吉井ら¹⁸⁾は、事故データに交通流観測データ、道路構造データ、降雨量データを結びつけることによって、交通流要因、道路の構造要因および環境要因が、事故の発生リスクに与える影響を調べた。その結果、接触事故や追突事故などの事故形態別に、事故発生リスクに影響を及ぼす要因が異なることを示した。金ら¹⁹⁾は、4 年分の事故データに同一期間の交通データ、道路構造データ、気象データ、安全対策データを用いて、交通事故の発生に影響を及ぼすと考えられる項目を用いた事故の要因分析を通して新たな事故分類を提案し、その影響を定量的に把握した。福満ら²⁰⁾は、事故データ、ETC データ、渋滞情報データ、道路交通センサデータを用いて、高速道路における交通事故発生時の周辺交通状況を表す変数を作成し、事故の要因分析を行った。

交通事故は人的被害に加えて経済損失も大きいため、これまで長年にわたって事故件数の削減や、事故被害軽減対策のための取り組まれてきた。これらの対策立案には、交通事故要因の把握が必要不可欠である。既往研究では、事故と車両の走行速度や加速度などの走

行特性、交通流の状態が事故要因として確認されていた。さらに、事故発生時の周辺状況も事故要因として考慮されているが、詳細な交通状況まで考慮した研究は少ない。

(3). 本研究の位置づけ

既往研究より、ETC2.0 データを用いると、トラカンなどの従来の統計データと比較して、時空間解像度の高い分析ができる。また、幅広い車種や用途の車両に関する情報が得られる特性と、連続的にプローブデータが得られる特性を活用すれば、道路の交通状況を把握できる可能性がある。一方で、ETC2.0 データによって得られる詳細なデータを事故の要因分析に活用した例は少ない。本研究では特に、ETC2.0 データの速度や車種に着目して、事故の発生や被害の深刻度に影響を及ぼす可能性のある変数を作成して、同データの特性を活かした分析を行う。

事故要因に関する既往研究においては、事故データ、トラカンデータなどそれぞれ単独で用いられることが多いが、複数のデータベースにまたがる要因の分析はできていないことが多い。さらに、複数の要因を考慮した場合でも、詳細な交通状況を用いて分析した例は少ない。

本研究では、事故データ、トラカンデータ、ETC2.0 データ、道路線形データを用いることで、これまで考慮できていなかった詳細な交通状況を考慮に入れた時空間解像度の高い交通事故の要因解析を行う。本研究の特徴として、4 種類の統計データを併用することで、多くの事故要因を同時に考慮した分析が可能となることがあげられる。また、ETC2.0 データを用いることで、従来のトラカンのみでは困難であった区間別の交通状況の特徴や、事故発生時の周辺車両の交通状況の特徴を分析に反映させられる。

3. 分析手法

(1). 事故の発生要因モデル

事故の発生要因の分析には、ロジスティック回帰モデル²⁰⁾を用いる。ロジスティック回帰モデルは、2 値変数を目的変数とする統計分析に用いられる。変数 X は潜在的な事故要因への曝露の有無を表す（例えば $X=1$ の場合は曝露群、 $X=0$ の場合は非曝露群）。また、 $X=x$ の集団における期待発生割合を $R(x)$ とする。式(1)に示すモデルはロジスティックモデルと呼ばれる。式(1)によって推定するモデルの目的変数は、区間別の事故の有無である。なお、区間別の事故発生件数を重みとして考慮する。

$$R(x) = \frac{\exp(\alpha + \beta x)}{1 + \exp(\alpha + \beta x)} \quad (1)$$

ここで α は定数項、 β はパラメータである。

(2). 事故の深刻度要因モデル

事故の深刻度要因の分析には、オーダードプロビットモデル²⁰⁾を用いる。オーダードプロビットモデルは、順序付きの質的変数を目的変数とする統計分析に用いられる。オーダードプロビットモデルは、説明変数とパラメータで定義した関数に加えて、序数カテゴリ間の閾値パラメータを推定することにより、序数間隔が一定ではない目的変数に対して、目的変数の序数段階に影響を及ぼす要因を明らかにする。オーダードプロビットモデルのカテゴリ選択確率 P_j は式(2)、確定項 V_j は式(3)、対数尤度関数 $\ln L$ は式(4)となる。

$$P_j = \phi(\theta_k - V_j) - \phi(\theta_{k-1} - V_j) \quad (2)$$

$$V_j = \sum_i \beta_i x_{ij} \quad (3)$$

$$\ln L = \sum_j \sum_k A_{jk} (\phi(\theta_{k-1} - V_j)) \quad (4)$$

ここで ϕ は標準正規分布の累積分布関数、 θ_k はカテゴリ間の閾値、 β_i はパラメータ、 x_{ij} は説明変数、 A_{jk} は観測カテゴリが k のとき 1 となるダミー変数である。

(3). 速度平均効果量と分散変化量

事故の発生要因として、速度平均効果量と分散変化量に着目する。効果量²⁰⁾とは、2 群間の違いを定量化した指標である。Cohen²⁰⁾は効果量の目安を 0.2 : 小、0.5 : 中、0.8 : 大とした。本研究では、速度平均効果量を、連続する 2 区間（当該区間（1km）とその上流区間（1km））の速度平均の変化を表す指標として定義し、式(5)で算出する。

$$\delta_i = \frac{|\mu_i - \mu_{i-1}|}{S_p} \quad (5)$$

ここで、 i は区間を示しており、 δ_i は効果量、 μ_i は平均値である。 S_p は i とその直前の $i-1$ 区間でプールした標準偏差であり、式(6)により算出する。

$$S_p = \sqrt{\frac{n_i S_i^2 + n_{i-1} S_{i-1}^2}{n_i + n_{i-1}}} \quad (6)$$

ここで、 n はサンプル数、 S は標準偏差を示す。また、分散変化量 v は、連続する 2 区間の分散の変化を表す。 v は式(7)で算出する。

$$v_i = |S_i^2 - S_{i-1}^2| \quad (7)$$

(4). 道路線形と道路勾配

事故に影響すると思われる構造的な要因として、道路線形と道路勾配を用いる。道路線形 s_i は、起終点間の直線距離 l_i と道路線形に沿う実距離 r_i の比であり、カーブの少ない道路線形ほど 1 に近い値をとる。道路勾配 g_i は、起終点間の垂直距離 v_i と水平距離 h_i の比であり、正の値は上り坂、負の値は下り坂を示す。道路線形 s_i を式(8)に、道路勾配 g_i を式(9)に、それぞれ示す。

$$s_i = \frac{r_i}{l_i} \quad (8)$$

$$g_i = \frac{v_i}{h_i} \times 100 \quad (9)$$

4. 分析条件と分析対象データ

(1). 事故深刻度の定義

事故の深刻度要因の分析では、序数型の変数を用いる。これは、以下の手順で算出した。まず、事故深刻度を第 1 当事者対象物の自動車台数により 3 段階のカテゴリーで定義した (表-1)。同表より、深刻度 1 が最も軽微で、深刻度 3 が最も被害が大きいことを表す。

(2). 事故周辺車両の抽出

事故の深刻度要因の分析では、事故発生時に現場周辺にいた周辺車両のデータを抽出することにより、事故につながりやすい交通流特性の発見に努める。具体的には、ETC2.0 データに記録された速度や車種などの特性が事故深刻度に及ぼす影響を分析する。

周辺車両の抽出条件の設定には、以下のトレードオフがある。すなわち、より事故発生時の交通流の状況を正確に捉えるには、抽出条件を厳しく (短時間、短区間) しなくてはならない。しかし、ETC2.0 データは時空間解像度の高いビッグデータだが、まだ普及段階のため、抽出条件として時間や空間をより短く、より狭く限定した場合、十分なデータ数が得られない。

表-1 本研究で定義した事故の深刻度

	第 1 当事者対象物の自動車台数		
	0 台※1	1 台	2 台以上※2
分類	深刻度 1	深刻度 2	深刻度 3

※1: 第 1 当事者対象物が自動車以外の単独事故

※2: 多重事故は先頭事故のみを対象

表-2 条件別周辺車両 10 台以上となる事故件数

No.	条件		周辺車両 10 台以上となる 事故件数
	時間	区間	
①	1 時間	5km	55
②	〃	10km	75
③	2 時間	5km	126
④	〃	10km	132

そこで、以下の分析では、4 種類の抽出条件 (①事故発生時から 1 時間以内に現場の上流 5km 以内を走行、②事故発生時から 1 時間以内に現場の上流 10km 以内を走行、③事故発生時から 2 時間以内に現場の上流 5km 以内を走行、④事故発生時から 2 時間以内に現場の上流 10km 以内を走行) を設定し、周辺車両が 10 台以上確保できた事故件数を比較した。表-2 に比較結果を示す。表-2 より、10 台以上確保できた事故件数が 100 件を超えた中で、より時空間解像度の高い、条件③を抽出条件として採用した。

(3). 分析対象データ

本研究では、NEXCO 西日本中国支社管轄エリア内の山陽自動車道上り本線の廿日市 JCT~笠岡 IC の約 130km を対象に分析を行った。また、対象期間は 2015 年 4 月~2015 年 12 月の 9 か月間とした。

a) 事故データ

事故データには、NEXCO 西日本中国支社管内の高速道路上で発生した事故の発生日時、発生場所、事故時の周辺状況など様々な項目が記録されている。

既往研究¹⁶⁾では、事故に影響する要因は、自由流と渋滞流でそれぞれ異なると報告されている。事故データに記録された“交通渋滞”を参照して、渋滞なしの事故のみを抽出したところ 322 件が得られた。これは、分析対象期間区間の全事故件数 351 件の約 9 割を占めており、渋滞流よりも自由流で発生した事故のほうが圧倒的に多かった。以下の分析では、事故件数が多かった自由流の事故に着目する。また、後述する ETC2.0 データは、利用者が少ない夜間や GPS 電波が受信できないトンネル内の取得率が低い可能性がある。

そこで、これらのデータが入手できる昼間（7 時～19 時）かつトンネル以外で発生した事故を対象とした。さらに、事故データには、先行車両の事故に引き続いて発生する後続事故（2 台以上の車両による多重事故等）も記録されている。こちらも自由流の事故とは状況が異なるため、後続事故と考えられる事故データを除去した。多重事故として扱う範囲は、全事故データから後続事故と考えられる傾向を確認して、30 分以内かつ 0.5km 以内とした。事故発生要因の分析では、上記条件を満たす 140 件の事故を扱う。また、事故深刻度要因の分析では、140 件のうち、周辺車両が 10 台以上確保できた 126 件の事故を対象に分析を行う。

対象区間の事故発生の有無割合を図-1 に示す。分析対象区間を 1km で区切り、トンネル区間を除くと、104 区間となった。このうち、事故が発生した区間は 70 区間であった。深刻度別事故件数を図-2 に示す。深刻度 1 が 62 件、深刻度 2 が 56 件、深刻度 3 が 8 件となっており、深刻度が大きくなるにつれて事故件数は少なくなっていた。

b) トラカンデータ

分析対象区間に設置された全 16 台のトラカンデータを用いる。トラカンデータには、日時、位置、交通量（方向別、車種別）が記録される。本研究で用いたトラカンデータは 1 時間単位で集計済みの値であるため、各交通量の単位は [台/時] である。

対象トラカン全 16 台の 2015 年 4 月～9 月の時間帯別平均交通量を図-3 に示す。時間帯により、大型車以外の交通量の変化は大きいですが、大型車の交通量の変化は小さい。特に後者の通行については時間帯により、交通状況が変化していることが分かる。

c) ETC2.0 データ

ETC2.0 データには 13 種の様式が存在する。本研究では、これらのうち 200m 間隔（機器によっては 100m 間隔）で速度などを記録した様式 1-2 と、加速度が閾値を超えるときのみ加速度などを記録した様式 14 を使用する。ETC2.0 データの種別と用途により、本研究で定義した車種を表-3 に、2015 年 4 月～9 月の車種別のデータ割合を図-4 に、それぞれ示す。図-4 より、小型車、軽自動車はそれぞれ 6.1%、2.4%に留まる一方で、大型車は 17.7%を占めている。2015 年 4 月～9 月の車種別の速度分布図を図-5 に示す。同図より、大型車と全車両の速度分布に違いがみられる。これは、大型車は運行管理を目的²³⁾として、デジタルタコグラフを搭載しているためと考えられる。デジタルタコグラフは、車両の運行速度・時間などを自動的に記録する運行記録装置であり、運行会社はこの記録に基づいてドライバー

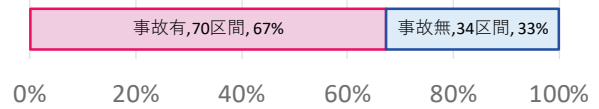


図-1 対象区間の事故発生の有無割合

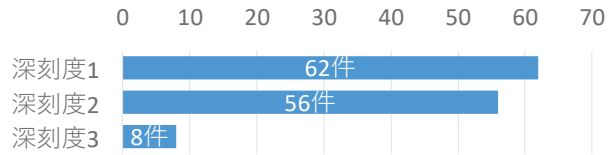


図-2 深刻度別事故件数

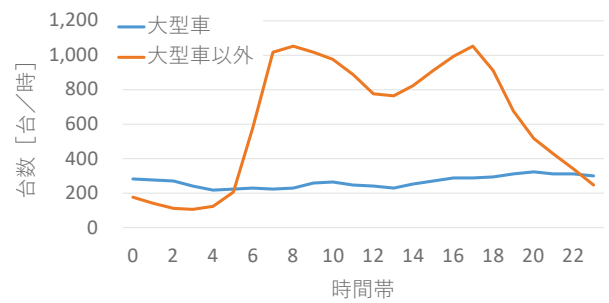


図-3 車種別交通量

表-3 本研究の車種分類

		用途					
		未使用	乗用	貨物	特殊	乗合	未定義
種別	普通	—	普通車	大型車	大型車	普通車	—
	小型	—	小型車	小型車	小型車	—	—
	軽自動車	—	軽自動車	軽自動車	軽自動車	—	—
	未定義	—	—	—	—	—	—

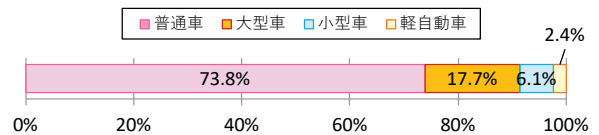


図-4 車種別データ割合

の法定速度、休憩時間などの遵守を確認する。貨物輸送やバス運行が大半を占める大型車は、時間通りに目的地へ到着する必要があるため、法定速度を超えないぎりぎりの速度を保ちながら走行すると想定されるので、一般車と比較すると速度分布は異なると予想される。

式(5)より算出した連続 2 区間の速度平均効果量を図-

6に、式(7)より算出した連続2区間の速度分散変化量を図-7に、それぞれ示す。図-6より、効果量が0.2以上の区間は全体の18.3%であった。図-7より、分散変化量は、宮島SAや広島IC付近で特に大きいことが分かる。この辺りでは、対象区間のうちで利用者が多く、走行速度の高い本線車両と走行速度が高くない宮島SAや広島ICを利用する車両が混在するためと考えられる。

d) 道路線形データ

道路線形データには、10m 間隔の緯度、経度、標高が記録されている。このデータに基づいて、道路線形 s_i や道路勾配 g を式(8)、(9)より算出した。

5. 交通事故の要因分析

(1). 事故の発生要因分析

事故発生要因モデルの目的変数は、事故の有無であり、式(1)のパラメータを推定した。事故発生要因モデルの推定結果を表-4に示す。モデル1は大型車の特徴を表す説明変数を含めて分析を行った結果である。自由度調整済みの疑似決定係数 (R^2) は 0.051 を示した。全車両の連続2区間の速度平均効果量が0.2以上となった場合を1とするダミー変数、および大型車速度中央値は、それぞれ正で有意となった。一方で、全車両の連続2区間の速度分散変化量、ならびに速度中央値は、それぞれ負で有意となった。モデル2は大型車の特徴を表す説明変数を除いて、全車両の特徴を表す説明変数のみで分析を行った結果である。自由度調整済み R^2 は 0.033 を示し、モデル1とAICを比較するとモデル2の方が高い。つまり、大型車の特徴を表す説明変数を含めて分析を行った方が、データへの当てはまりは良い。そこで、当てはまりの良いモデル1の説明変数を用いて、ステップワイズ法によりAICが最小となる説明変数の組合せを選択し、分析を行った結果をモデル3に示す。自由度調整済み R^2 は 0.098 を示し、データへの当てはまりはあまり良好ではない。モデル3では、モデル1と同様に全車両の連続2区間の速度平均効果量が0.2以上となった場合を1とするダミー変数、大型車速度中央値はそれぞれ正、全車両の連続2区間の速度分散変化量、速度中央値はそれぞれ負で有意となった。さらに、左右加速度件数が正で有意となった。

AICが最小のモデル3より、全車両の連続2区間の速度平均効果量が0.2以上となった場合を1とするダミー変数、全車両の連続2区間の速度分散変化量、速度中央値、大型車速度中央値、左右加速度件数の5変数が、事故の発生に影響を与えていることが明らかとなった。それぞれの説明変数の含意を考察する。全車両の連続2

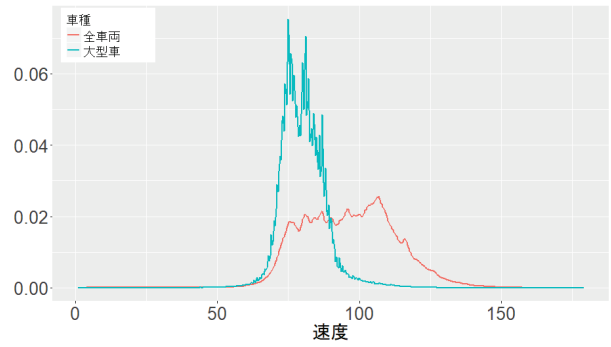


図-5 2015年4月~12月の車種別速度分布

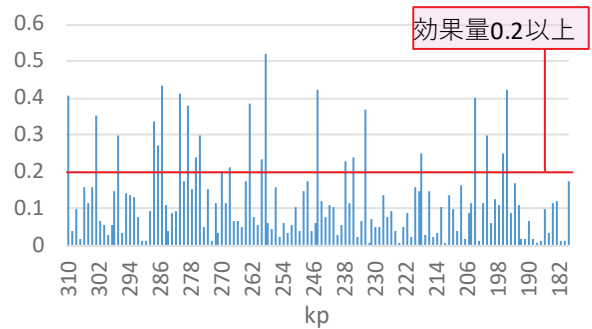


図-6 区間別速度平均効果量

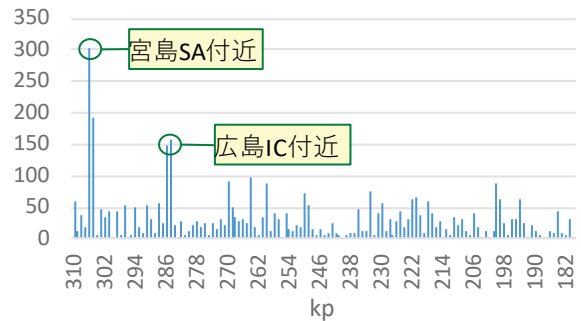


図-7 区間別分散変化量

区間の速度平均効果量が0.2以上となる場合に事故発生が増加する状況は、上流区間(1km)と対象区間(1km)の速度平均の変化が大きいほど事故は発生することを表す。これは、速度が変化することで車の密度が変化し、交通状況が大きく変わる状況を表している。一方で全車両の連続2区間の速度分散変化量のパラメータは負の値となった。つまり、上流区間(1km)と対象区間(1km)の速度分散の変化が小さいほど事故は発生しない。分散が変化しない状況は、速度のばらつきが大きく車間距離が空いている状況か、反対に速度のばらつきが小さく車間距離が詰まった状態が上流区間で続いている状況であり、これらの場合に事故が発生

表-4 事故の発生要因モデル推定結果

説明変数	モデル1		モデル2		モデル3	
	推定値	標準偏差	推定値	標準偏差	推定値	標準偏差
交通量	-3.E-04	0.001	-3.E-04	0.001	—	—
大型車交通量	-0.011	0.011	—	—	—	—
速度平均効果量 0.2以上ダミー	3.135 *	1.271	2.982 *	1.180	3.061 *	1.197
速度分散変化量	-0.032 **	0.010	-0.027 **	0.009	-0.027 **	0.008
速度分散	0.007	0.009	0.002	0.006	—	—
速度中央値	-0.288 **	0.127	-0.029	0.054	-0.156 *	0.079
大型車速度分散	0.009	0.017	—	—	—	—
大型車速度中央値	0.616 **	0.233	—	—	0.384 *	0.155
前後加速度件数	9.E-05	2.E-04	-2.E-04	2.E-04	—	—
左右加速度件数	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004 .	0.002
道路線形	0.397	0.002	-0.449	5.527	—	—
道路勾配	0.160	5.956	0.008	0.212	—	—
定数項	-18.680	0.251	5.434	8.818	-13.362	8.416
AIC	189.067		192.637		179.647	
初期尤度	-98.520		-98.520		-98.520	
最終尤度	-81.533		-86.319		-83.824	
R ² McFadden	0.172		0.124		0.149	
R ² McFadden 自由度調整済み	0.051		0.033		0.098	
サンプル数	104		104		104	

** : 1%有意 * : 5%有意 . : 10%有意

しやすい。速度中央値のパラメータは負の値となった。つまり、全体の速度が遅いほど事故が発生しやすい。一般に速度が速いと車間距離が広くなり、目の前で起きる突発的な危険事象に対処できる余裕が生じるためと考えられる。大型車速度中央値のパラメータは正の値となり、全車両の速度中央値のパラメータと符号が逆となった。つまり、大型車の速度は速いほど事故は発生しやすい。これは、以下の状況をあらわすと考えられる。全車両の速度中央値が低くなり、大型車速度中央値が高くなると、すべての車両が同じような速度分布となる。しかし、大型車以外の車両は、より高い速度を目標として走行することが多いため、大型車を追い越そうとして、事故が発生しやすくなると考えられる。左右加速度件数のパラメータは正の値となった。つまり、閾値を超える左右加速度が多く観測されるほど事故は発生する。なお、左右加速度は閾値を超える件数で定義した点に留意する必要がある。この値が急な車線変更の多さを表しているとすれば、交通流の横断方向の乱れが、事故発生を招くと思われる。

(2) 事故の深刻度要因分析

式(2)により推定した事故深刻度要因モデルの結果を表-5に示す。モデル1は大型車の特徴を表す説明変数を含めて分析を行った結果である。自由度調整済み R²は-0.031を示した。モデル1は7時から10時を1とする

ダミー変数、大型車交通量、ヨー角速度件数は、それぞれ正で有意となった。一方で、大型車速度中央値は負で有意となった。モデル2は、全車両の特徴を表す説明変数のみで分析を行った結果である。自由度調整済み R²は-0.040を示した。自由度調整済み R²はモデル1の方が高く、大型車の特徴を表す説明変数を含む方がデータへの当てはまりが良いことが分かる。そこで、モデル1の説明変数を用いて、ステップワイズ法によりAICが最小となる説明変数の組合せを選択した結果をモデル3に示す。自由度調整済み R²は0.031を示し、データへの当てはまりは良好ではない。モデル3ではモデル1と同様に、7時から10時を1としたダミー変数、大型車交通量、ヨー角速度件数は、それぞれ正、大型車速度中央値は負で有意となった。

事故深刻度要因モデルのデータへの当てはまりはあまり良好ではなかったが、7時から10時を1としたダミー変数、大型車交通量、大型車速度中央値、ヨー角速度件数が事故の深刻度に影響を与えていることが明らかとなった。有意となった説明変数について、それぞれ考察をする。7時から10時を1としたダミー変数のパラメータは正の値となり、この時間帯に発生する事故の深刻度は大きい。これは、通勤ラッシュで交通量が多く、一部に急いでいる車が含まれるためと考えられる。大型車交通量のパラメータは正となり、大型車が多いほど事故の深刻度は大きい。これは、大型車

表-5 事故の深刻度要因モデル推定結果

説明変数	モデル1		モデル2		モデル3	
	推定値	標準偏差	推定値	標準偏差	推定値	標準偏差
休日	0.160	0.345	0.398	0.263	—	—
7時から10時	0.676	0.350	0.579	0.330	0.658 *	0.298
10時から13時	0.189	0.315	0.233	0.306	—	—
13時から16時	-0.033	0.300	-0.123	0.293	—	—
晴れ	0.116	0.227	0.132	0.223	—	—
交通量	-4.E-04	3.E-04	-3.E-04	3.E-04	-4.E-04	3.E-04
大型車交通量	0.003 *	0.002	—	—	0.003 **	0.001
速度分散	-0.002	0.002	-0.002	0.001	-0.002	0.001
速度中央値	0.007	0.015	0.004	0.014	—	—
大型車速度分散	-0.001	0.002	—	—	—	—
大型車速度中央値	-0.013 *	0.006	—	—	-0.012	0.006
前後加速度件数	0.010	0.010	0.003	0.010	—	—
左右加速度件数	-0.098	0.108	-0.070	0.085	—	—
ヨー角速度件数	0.292 **	0.112	0.240 *	0.093	0.258 **	0.088
道路線形	0.859	2.803	0.209	2.684	—	—
道路勾配	0.358	0.290	0.261	0.281	0.401	0.275
AIC	233.875		235.701		219.881	
初期尤度	-111.434		-111.434		-111.434	
最終尤度	-98.940		-102.851		-100.941	
R ² McFadden	0.112		0.077		0.094	
R ² McFadden 自由度調整済み	-0.031		-0.040		0.031	
サンプル数	126		126		126	

** : 1%有意 * : 5%有意 . : 10%有意

が関わる事故の方が衝撃が大きく、被害の大きな事故に発展しやすいと考えられる。大型車速度中央値のパラメータは負の値となり、発生要因は符合が逆になった。つまり、大型車の速度が速いほど深刻度は小さくなる。これは、大型車が速い速度で走行できる場合は車間距離が広くなるため、目の前で起きる危険な事象に対処できる余裕が生じるためと考えられる。ヨー角速度件数のパラメータは正の値となった。つまり、閾値を超えるヨー角速度が多く観測されるほど深刻度は大きくなる。この傾向は事故発生と同様であり、横断方向の交通流の乱れが事故深刻度に影響することを表している。

6. 結論と今後の課題

本研究では、事故データ、トラカンデータ、ETC2.0データ、道路線形データを統合し、高速道路上の事故の発生要因の候補となる変数と、事故の深刻度要因の候補となる変数を作成して、交通事故の要因解析を行った。具体的には、区間別の交通状況が考慮できる事故発生要因分析用データベースと、事故発生時周辺の交通状況が考慮できる事故深刻度要因分析用データベ

ースをそれぞれ作成し、事故の発生と、事故の深刻度に関するモデル分析を行った。以下に、本研究で得られた知見をまとめる。

事故の発生要因の分析では、目的変数を、区間別(1km)の事故有無として、各区間の事故の発生件数を重みとして考慮した。その結果、全車両の連続2区間の速度平均効果量、全車両の連続2区間の速度分散変化量、速度中央値、大型車速度中央値、そして左右加速度件数、の5変数が事故発生に有意な影響を与えることを明らかにした。パラメータの符号は、全車両の連続2区間の速度平均効果量、大型車速度中央値および左右加速度件数が正、全車両の連続2区間の速度分散変化量と速度中央値が負となった。以上の結果より、事故地点に共通する交通流の乱れや特徴が明らかとなった。この地点別交通流のマクロな特徴は、その地点での危険性を交通流の一時的な状態に結びつけたドライバーへの警告システムの開発や、車両制御による予防的事故対策に用いることができる。

事故の深刻度要因の分析では、目的変数を深刻度(事故の対象物に関する車両台数により独自に定義)とした。時間帯(7時から10時)、大型車交通量、大型車速度中央値、ヨー角速度件数の4変数が事故の深刻度に有意な影響を与えることを明らかにした。パラ

メータの符号は、時間帯（7時から10時）、大型車交通量、ヨー角速度件数が正、大型車速度中央値が負となった。事故の発生要因では有意となった、速度中央値と左右加速度件数は、事故の深刻度の分析では有意とはならなかった。大型車速度中央値は、事故の発生と深刻度の両者に有意な影響を与えるが符号は逆となった。大型車速度中央値は事故発生時の周辺車両の特徴を表す変数の1つであり、事故発生時の周辺車両の特性が事故の深刻度に有意に影響を与えることが明らかになった。

今後の課題をまとめる。事故発生要因モデルと事故深刻度モデルともに、自由度調整済み R^2 が低くデータへの当てはまりが良好ではない。そのため、モデルの推定精度を改善する必要がある。また、事故発生の要因分析では、区間別の特徴を表す変数は作成したが、時間帯は考慮できなかった。一方で深刻度の要因分析では、周辺車両の時間幅を2時間、区間幅を5kmとして分析を行った。しかし、ETC2.0の普及率が低いため、時間をより短く、空間を狭く限定できない課題があった。しかし、ETC2.0の普及率は年々高くなっているため、最新のデータを用いれば、より細かい条件での分析が期待できる。また、事故深刻度要因分析では、周辺車両の特徴として有意となる変数の模索が必要である。さらに、ETC2.0データを、より長期間にわたって、解析すれば、事故対策を行った区間の効果ばかりでなく、対策地点以外への事故危険性の移転の可能性を明らかにできる。

謝辞：本研究は国土交通省の平成28年度「道路政策の質の向上に資する技術研究開発（課題名：複数のデータを活用した道路ストック効果の計測技術の再構築，研究代表者：塚井誠人）」において実施された。また、西日本高速道路株式会社より貴重な事故データ、トラカンデータ、道路線形データを提供頂いた。ここに深く感謝致します。

参考文献

- 1) 内閣府：平成29年版交通安全白書（第1章 道路交通事故の動向），http://www8.cao.go.jp/koutu/taisaiku/h29kou_haku/pdf/zenbun/h28-1-1-1.pdf
- 2) 脇森浩志：ビッグデータに対するテキストマイニング技術とその適用例，UNISYS TECHNOLOGY REVIEW 第115号，pp.19-31，2013。
- 3) 稲田裕介，中山晶一郎，高山純一：都市高速道路の時間・日交通量の変動特性と分布形状に関する一考察，土木学会論文集D3(土木計画学)，Vol.67，No.5(土木計画学研究・論文集第28巻)，pp.553-561，2011。
- 4) 国土交通省：ETC2.0，www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/etc2/jyouhou.html
- 5) ETC 総合情報ポータルサイト GO!ETC：ETC/ETC2.0 (DSRC) 普及状況，<http://www.go-etc.jp/fukyu/>
- 6) 一般財団法人自動車検査登録情報協会：自動車保有台数（昭和41年からの推移），<https://www.airia.or.jp/publish/statistics/ub83cl00000000wo-att/hoyuudaisuusuiihyou.pdf>
- 7) 末成浩嗣，田中良寛，橋本浩良，高宮進：ETC2.0プローブ情報から得られる経路データを利用した道路の利用特性把握，第53回土木計画学研究発表会・講演集，pp.635-642，2016。
- 8) 増本裕幸，宇野伸宏，山崎浩気，山本浩司，高橋秀喜，馬淵一三：ITSプローブデータを活用した都市間高速道路における速度低下要因に関する分析，第13回ITSシンポジウム，2015。
- 9) 北川清州，絹田裕一，牧村和彦，足立智之，西田純二：ETC2.0プローブを活用した観光期の渋滞発生状況分析 - 高速道路のStop and Goの見える化 - ，第53回土木計画学研究発表会・講演集，pp.1600-1605，2016。
- 10) 葛西誠，邢健，成嶋晋一，後藤秀典，辻光弘：暫定2車線区間におけるトラフィック機能のサービス指標に関する考察，交通工学論文集，第3巻，第2号（特集号A），pp.A_135-A_144，2017。
- 11) 鹿谷征生，鈴木彰一，牧野浩志：プローブデータを活用した大型車の通行経路の把握と推定に関する提案，情報処理学会第77回全国大会第3分冊ネットワーク行動交通システムとスマートコミュニティ，pp.3_75-3_76，2015。
- 12) 成嶋晋一，葛西誠，邢健，後藤秀典，辻光弘：ETC2.0データによる高速道路の暫定2車線区間の交通実態分析，交通工学論文集，第3巻，第2号（特集号A），pp.A_125-A_134，2017。
- 13) 高島一彦，古池弘隆，森本章倫，交差点における自動車の走行特性からみた交通事故の潜在的危険性に関する分析，土木学会論文集No.716/IV-57，pp.39-52，2002。
- 14) 野田宏治，今井稔，萩野弘，栗本譲：道路交通環境を考慮した自動車のアクセレーションノイズ予測モデルと交通事故に関する研究，土木学会論文集No.512/IV-27，pp.61-71，1995。
- 15) 三浦久，洪性俊，田中信治，桑原雅夫：首都高速道路における追突事故リスク予測に関するミクロ的分析，土木学会論文集D3，Vol.68，No.5，I_1143-I_1148，2012。
- 16) 兵道知，吉井稔雄，高山雄貴：都市内高速道路における多車線道路区間を考慮した交通流領域別事故発生リスク要因分析，第32回交通工学研究発表会論文集，pp.103-109，2012。
- 17) 多田昌裕，飯田克弘，安時亨，山田憲浩：事故調査に基づく高速道路における高齢運転者特有の事故パターン分析，第32回交通工学研究発表会論文集，pp.125-128，2012。
- 18) 吉井稔雄，兵頭知，倉内慎也：都市内高速道路における事故発生リスク要因分析，第31回交通工学研究発表会論文集，pp.93-98，2011。
- 19) 金進英，宇野巧，岩里泰幸，大藤武彦：量的・質的データを融合した事故要因分析による新たな交通事故分類と安全対策の方向性，交通工学論文集，第3巻，第4号（特集号A），pp.A_92-A_101，2017。
- 20) 福満聖也，塚井誠人，神澤拓，張峻屹：周辺車の特

- 性が高速道路事故深刻度に及ぼす影響, 交通工学論文集, 第 3 卷, 第 2 号 (特集号 A), pp.A_172-A_177, 2017.
- 21) 丹後俊郎, 山岡和枝, 高木晴良: ロジスティック回帰分析 SAS を利用した統計解析の実態, 朝倉書店, 2013.
- 22) 北村隆一, 森川高行, 佐々木邦明, 藤井聡, 山本俊行: 交通行動の分析とモデリング, 技報堂出版株式会社, 2002.
- 23) 国土交通省: 自動車総合安全情報~自動車の安全な交通を目指して~ (デジタル式運行記録計の概要), www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/03driverec/digitacho.html
- 24) 大久保街亜, 岡田謙介: 伝えるための心理統計, 勁草書房, 2012.
- 25) Cohen,J.:Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences,New York: Academic Press, 1969.

(2018. x. x)

AN ANALYSIS OF TRAFFIC ACCIDENT FACTORS USING ETC2.0 DATA

Rina TAKAYAMA, Makoto TSUKAI, Wataru YAMAMOTO, Yuki YAMAMOTO

Road traffic supports the people's livelihood and economic activities. However, many people still suffer from traffic accidents, because no decrease in the number of traffic accidents is observed on expressways. In order to develop new countermeasures to prevent traffic accidents, it is necessary to clarify the factors of traffic accidents from a novel point. In recent years, ETC 2.0 data, which is "big data", is drawing attention in the transportation. ETC 2.0 data collects a large amount of continuous probe information such as location, speed and trajectory. By using ETC 2.0 data, we can understand more detailed traffic situation which was not available in conventional ETC data. The purpose of this study is to clarify the factors of traffic accidents by using a database combining multiple types of road and traffic database including ETC 2.0 data. The database are used as explanatory variables to estimate the statistic model for occurrence of traffic accident, and for accident severity, respectively. A logistic regression model was estimated to analyze occurrence factors of traffic accidents. As a result, not only the characteristic in a link, but also the characteristics in difference between the link and the upstream link were found as the factors to cause traffic accidents. Analysis of severity factors of traffic accidents was carried out by an ordered probit model. As a result, four variables as severity factors about time zone in a day, traffic volume, speed and acceleration were found.