

一般化線形モデルによるプラットフォーム設備・構造・利用状況から見た安全度評価方法の検討

加藤 崇之¹・寺部 慎太郎²・柳沼 秀樹³・康 楠⁴・田中 皓介⁵

¹ 学生非会員 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)
E-mail: 7618511@tus.ac.jp

² 正会員 東京理科大学教授 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)
E-mail: terabe@rs.noda.tus.ac.jp

³ 正会員 東京理科大学講師 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)
E-mail: yaginuma@rs.us.ac.jp

⁴ 正会員 東京理科大学嘱託助教 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)
E-mail: kangnan@rs.tus.ac.jp

⁵ 正会員 東京理科大学嘱託助教 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)
E-mail: tanaka.k@rs.tus.ac.jp

国土交通省によると駅ホームからの転落や、駅ホームでの接触事故が多く発生している。駅ホームの代表的な安全対策といえばホームドア設置が挙げられるであろう。しかしすべての駅ホームにホームドアを設置することができる鉄道事業者は多くない。本研究の目的は、事故の要因を明らかにし駅ホーム上安全対策に役立てることである。鉄道事業者から提供された事故データ、大都市交通センサスのデータ、独自に行なった駅構造調査の結果から、ポアソン回帰を用いて事故件数回帰モデルを作成した。また、ロジスティック回帰を用いて鉄道利用者の個人属性や利用時間帯を考慮した事故発生リスクを算出した。その結果、駅構造の観点では駅ホーム形状や列車と駅ホームの隙間などが、利用状況の観点からは酔酩状態であることなどが駅ホーム事故発生に影響を与えていることがわかった。

Key Words: *accident of station platform, safety, generalized liner model*

1. 本研究の背景

鉄道において安全とは最も重要なことである。多くの人は鉄道が安全な交通手段であると考え利用している。しかし大都市圏においては鉄道による事故が発生することも珍しくない。

「交通安全白書¹⁾(内閣府)」によると鉄道運転事故のうち2016年の駅ホーム事故件数は179件であった。2015年と比較すると駅ホーム事故件数は減少しているが、2007年から2015年の間はいずれの年も駅ホーム事故発生件数は180件を超えている。「第5回駅ホームにおける安全性向上のための検討会配布資料²⁾(国土交通省)」によると2015年度はプラットフォームからの転落が3518件、プラットフォームでの接触事故は198件発生した。

「鉄軌道輸送の安全に関わる情報³⁾(国土交通省)」によると2016年度に発生した輸送障害は5331件であり、そのうち線路内立ち入り等による輸送障害は2334件で

ある。このうち自殺および動物の接触による輸送障害件数を除くと、1154件の輸送障害が発生した。プラットフォームからの転落件数およびプラットフォームでの接触事故件数の推移を見ると約6割が酔酩によるものである。

そのため、酔酩による事故発生を防ぐためにもプラットフォームの安全対策が必要である。

プラットフォームの代表的な安全対策といえばホームドア設置が挙げられるであろう。しかしホームドア設置には多額の費用がかかるだけではなく、プラットフォーム自体の構造物としての強度も考慮しなければならない。またホームドアも機械であるため、今後経年劣化が発生する可能性もある。そのためすべてのプラットフォームにホームドアを設置することができる鉄道事業者は多くない。

そこで本研究の目的は山田ら⁴⁾が提案した駅ホーム安心安全評価手法を用いて、実際のプラットフォーム上の安全度を評価し、どのような要因が駅ホーム事故発生に寄与しているか考察することである。

2. 既往研究

黒瀧ら⁵⁾は本研究の先行研究として駅ホーム上安心安全評価手法と実際の事故との関係を検証している。その結果、従来の評価手法と実際の事故との当てはまりが良くないことが示唆された。

そこで新たな指標として「安心感」を追加し、調査対象路線沿線にある大学の教員および学生らに対してアンケート調査を行なった。その結果、駅利用者はデザインや清潔感、設備や周辺の風景から受ける見た目の印象によって駅の安心感を決めていると思われることが示唆された。また、一部の駅では従来の評価手法よりも安心感による主観的評価の方が実際の事故件数に近いという結果を得た。

本研究では、鉄道事業者(以下 A 社とする)から提供された事故データ、大都市交通センサスのデータ、独自の駅調査の結果から、ポアソン回帰を用いてプラットフォームの事故件数回帰モデルを作成した。また、ロジスティック回帰を用いて鉄道利用者の個人属性や利用時間帯を考慮した事故発生リスクを算出した。一般化線形モデルを用いることで、プラットフォームの安全性や利用者属性を考慮した事故発生リスクを定量的に評価可能になったことが既往研究と異なる点である。

3. 一般化線形モデルによる駅ホームの安全度評価方法の検討

(1) 使用したデータ

本研究では初めに以下のデータから一般化線形モデルの一つであるポアソン回帰を行いプラットフォーム上での年間事故発生件数の推計を試みた。

a) プラットフォーム上事故データ

本研究では鉄道事業者 A 社より 2014 年度から 2016 年度の 3 年分計 1032 件の駅ホーム事故データが提供された。プラットフォーム上事故データはプラットフォーム上で駅係員が確認した事故について記録されたデータである。

なお、このデータの中には軽微な事故の直後に相手方の帰宅等で駅係員が相手方に事情を聞くに至らなかった事案も含まれている。相手方の年齢や酔酩であったかどうかは目視による判断の可能性もある。

事故は「転落」、「隙間転落」、「踏み外し」、「触車」の 4 種に分類されている。「転落」は車両のない状態で駅ホーム上から線路面へと転落すること、「隙間転落」は車両のある状態で車両と駅ホームの隙間に転落すること、「踏み外し」は隙間転落まではいかないものの

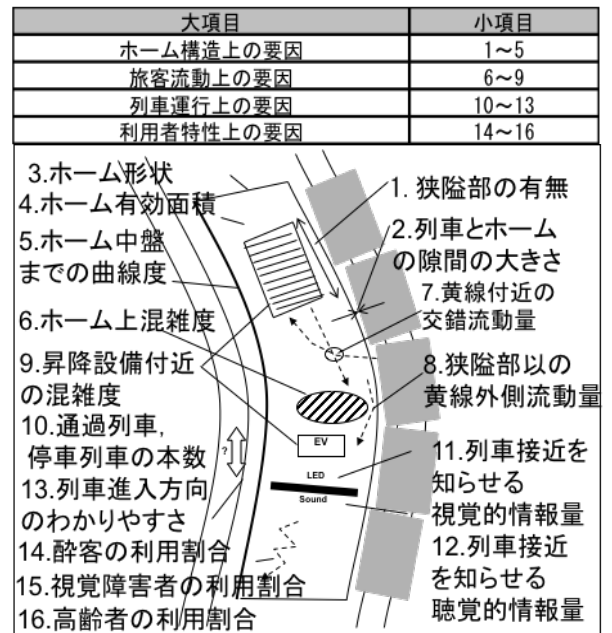


図-1 駅ホーム安全度評価項

乗降時に車両と駅ホームの間に足を滑らせること、「触車」は駅ホーム上で車両と接触することを指す。

なお、本稿においてはA社との契約に基づき、データ秘密保持のために事業者名・路線名・駅名は記号表記し秘匿化する。

b) 駅調査データ

本研究では鉄道事業者 A 社鉄道線全線のプラットフォームにおいて、駅ホーム安心安全評価手法に従って駅調査を行なった。駅ホーム安心安全評価手法での評価項目の概念図を図-1 に示す。

各項目の調査方法は項目 1 及び項目 4 が歩測、項目 2 が定規、項目 3 と項目 5 および項目 10 から項目 13 が目視等による確認、項目 4 については駅ホーム両側に車両が来る場合その部分は二分する。項目 6 は乗降人員を有効面積でわったもの、項目 7 は車両のドア数と階段・エスカレーターの動線数をかけたもの、項目 8 は駅ホーム線路際の柵等の設置長さ、項目 9 は階段・エスカレーターの数、項目 14 は番線別の酔客事故件数、項目 15 は駅周辺の視覚障害者向け施設数、項目 16 は大都市交通センサスのデータを利用した。

(2)ポアソン回帰による駅ホームごとの年間事故発生件数の推定

本研究では駅調査で得たデータをそのまま説明変数としポアソン回帰を行なった。

リンク関数および線形予測子は以下のように設定した。

$$\log \lambda = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots \quad (1)$$

ただし、 λ はポアソン分布のパラメータであり、1 年あたりの平均事故発生件数を表す。 β は切片および説明変数のパラメータである。

まず、説明変数を全て使用したモデルを作成した。このモデルの多重共線性の確認をしたところ、交錯箇所の数、昇降設備数、列車接近の視覚的情報量および高齢者数の 4 項目の VIF(分散拡大係数)が 10 以上であり多重共線性の疑いがあった。そこで昇降設備数と列車接近の視覚的情報量を変数から除き、再びポアソン回帰モデルを作成し、多重共線性がないことを確認をした。このモデルからステップワイズ法による変数選択を行い、AIC(赤池情報量規準)が最小となったのが表-1 に示すモデルである。

狭隘部の長さや列車との最大隙間、白線外で柵のない長さが変数として選択されたことは、被説明変数である年間事故件数の多くが乗降時の「踏み外し」によるものであることから妥当であると考えられる。

なお、A 社提供の事故データ 3 年分を基礎集計した結果、全事故件数のうち約半数が「踏み外し」であった。

「踏み外し」とは列車乗降時に駅ホームと列車の間に足を踏み外す事象である。「踏み外し」は若い女性に多く発生している。「踏み外し」は軽微な事象であるが、小柄な女性や子供が足を踏み外すと体が完全に隙間に落ちる「隙間転落」に繋がりがかねない。ポアソン回帰の結果を見ると列車との最大隙間のパラメータ推定値が大きく、有意であるという結果になった。

また、曲線駅ホーム凸側ダミーも同様の結果が得られた。曲線駅ホームの凸側は軌道にカントがつけられているため列車と駅ホームとの間の隙間がより大きくなる。

ここで、このモデルが現況再現できているかを確認するためにヒストグラムを作成した。

図-2 に実際の事故件数とポアソン回帰モデルによる推計を比較したヒストグラムを示す。

図-2 において、ヒストグラムが実際の事故件数、折れ線グラフがモデル 3 のパラメーターの値をリンク関数に代入し算出した年間事故発生件数の推計である。事故件数ごとに頻度を見ると差が見られるところが全体的な分布は外れていないように推察される。

このことから、確かにポアソン回帰によって事故の要因を定量的に推定することができたと言える。

(3) 個人属性を考慮した事故リスクの算出

ここまでの分析で番線別事故件数、駅構造調査結果、および大都市交通センサスのデータからポアソン回帰モデルを用いて事故件数回帰モデルを構築した。これにより、どのようなプラットフォームの特徴が事故発生に起因しているかを推定することができた。しかし、基礎集計の結果から週末の深夜は男性酔客の転落事故が多いな

表-1 駅ホーム事故件数回帰モデル

変数名	パラメータ	
切片	-6.13	***
乗降人数(対数)	2.30×10^{-1}	***
狭隘部の長さ	2.63×10^{-3}	
列車との最大隙間	1.19×10^{-1}	***
島式駅ホームダミー	1.23	***
駅ホーム有効面積	7.68×10^{-4}	***
曲線駅ホーム凹側ダミー	-5.15×10^{-1}	***
曲線駅ホーム凸側ダミー	3.56×10^{-1}	***
交錯箇所の数	—	
白線外で柵のない長さ	2.88×10^{-3}	***
昇降設備数	—	
列車進入頻度	3.11×10^{-3}	***
列車接近の視覚的情報量	—	
列車接近の聴覚的情報量	-8.40×10^{-2}	
対面進入ダミー	-7.17×10^{-1}	***
酔客利用割合	—	
視覚障害者利用割合	1.71×10^{-1}	***
高齢者利用割合	3.35×10^{-4}	***
AIC	1895.9	

***:0.1%有意**:.1%有意*:5%有意

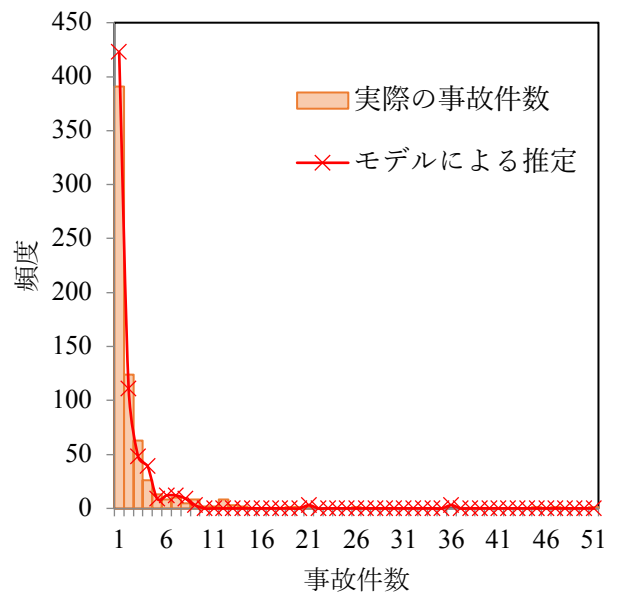


図-2 実際の事故データとモデルによる推定結果の比較

ど、駅ホーム事故を発生させる個人の属性には明らかな傾向が見られる。そこで個人属性を考慮した事故リスクを算出するためにロジスティック回帰を行なった。先行研究の安心安全評価手法における大項目「駅ホーム構造上の要因」、「旅客流動上の要因」、「列車案内上の要因」とA社提供の駅ホーム事故データから「事故発生時刻」、「曜日」、「相手方の性別」、「相手方の年代」、「飲酒の有無」を説明変数とし種類別の事故件数を被説明変数とした。

また、リンク関数および線形予測子は以下のように設定した。

$$q = \text{logistic}(z) = \frac{1}{1 + \exp(-z)} \quad (2)$$

$$z = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots \quad (3)$$

「転落」についてロジスティック回帰を行い各変数のオッズ比を求めた結果が表-2である。

表-2 より、「週末ダミー」、「深夜ダミー」、「男性ダミー」、「20代ダミー」、「飲酒ダミー」が事故リスクを増加させる要因であることがわかった。ここで「週末ダミー」は事故発生が金曜日、土曜日、日曜日のいずれかであれば 1 を取るダミー変数である。また、「深夜ダミー」は事故発生時刻が 22 時から翌日 5 時までであれば 1 を取るダミー変数である。

4. 結論と今後の展望

(1) 結論

本研究では、A社提供の事故データ3年分とA社線の駅を対象とした駅構造調査結果および大都市交通センサスのデータを用いて、一般化線形モデルから事故の要因や個人属性を考慮した事故発生リスクを算出した。

ポアソン回帰の結果を見ると列車との最大隙間のパラメータ推定値が大きく、有意であるという結果になった。このパラメータ推定値から列車との最大隙間が事故件数に与える影響を算出したところ、列車との最大隙間が1cm増えるごとに年間事故件数が1.13倍になるという結果になった。

また、本研究ではロジスティック回帰を用いることで個人属性を考慮した事故発生リスクを算出することができた。酔客の転落事故の発生リスクは非酔客の11.7倍、男性転落事故発生リスクは女性の2.74倍など、事故発生リスクの定量的な評価が可能になったことは本研究の新規性であると言える。

(2) 今後の展望

今後の課題としては、安心安全評価手法の小項目「酔客利用割合」と「視覚障害者利用割合」の評価指標の再検討が挙げられる。現在、「酔客利用割合」は駅ホーム上で実際に発生した酔客による事故件数を評価指標としている。事故件数の推定をする上で酔客の事故件数を説明変数として導入するのは適切ではない。また、「視覚障害者利用割合」は視覚障害者向け福祉事業者数を指標に用いている。しかし、全ての視覚障害者が毎日福祉事業者を利用するとは言えないため再検討の必要がある。

表-2 転落事故の要因とオッズ比

変数名	オッズ比	
切片	3.63×10^{-2}	*
乗降人数 (対数)	9.37×10^{-1}	
狭隘部の長さ	9.83×10^{-1}	*
列車との最大隙間	1.01	
駅ホーム有効面積	1.00	
曲線駅ホーム凹側ダミー	1.41	
曲線駅ホーム凸側ダミー	4.22×10^{-1}	**
駅ホーム柵のない合計長さ	1.00	
昇降設備数	9.74×10^{-1}	
列車進入頻度	1.00	
列車接近の聴覚的情報量	1.37	
対面進入ダミー	7.00×10^{-1}	***
週末ダミー	1.23	***
深夜ダミー	3.15	***
男性ダミー	2.74	***
10代ダミー	3.71	*
20代ダミー	4.00	***
30代ダミー	1.66	
40代ダミー	3.09	*
50代ダミー	1.26	
60代ダミー	4.35	*
70代ダミー	7.82×10^{-1}	
80代ダミー	1.38	
90代ダミー	4.13×10^{-6}	
飲酒ダミー	11.7	***

***:0.1%有意 **:1%有意 *:5%有意

謝辞：本研究はエコロジー・モビリティ財団からの研究助成金を受けて実施した。

参考文献

- 1) 内閣府：交通安全白書，pp135-136,2017
- 2) 国土交通省：第5回駅ホームにおける安全性向上のための検討会配布資料 <http://www.mlit.go.jp/common/001156630.pdf> 最終閲覧：2018,2
- 3) 国土交通省：鉄軌道輸送の安全に関わる情報(平成27年度)参考資料 <http://www.mlit.go.jp/common/001208556.pdf> 最終閲覧 2018,2
- 4) 山田真也，寺部慎太郎：駅の構造・設備・利用状況からみた安全安心の評価方法，サイバネティクス Vol.18, No.3,2013
- 5) 黒滝恭広・武藤雅威・寺部慎太郎・柳沼秀樹・康楠：鉄道駅ホーム上の安心評価手法の検討，鉄道工学シンポジウム論文集，No.21，講演概要，pp.175-178，2017.07

(2018.4.27 受付)

A STUDY ON SAFETY EVALUATION METHOD ON RAILWAY STATION PLATFORM

Takayuki KATO, Shintaro TERABE, Hideki YAGINUMA,
Nan KAN, and Kousuke TANAKA

According to "White Paper on traffic safety in Japan", the number of railway platform accidents occurred 179 times in 2016. The number of accidents decreases in comparison with 2015, but it is 180 over times to both age from 2007 through 2015. It is setting platform screen door that the representative safety measure of the platform accidents. However, there are not many railway companies who can install a platform door in all platforms. In this study, I analyze the number of accidents in each platform and platform structural survey data with Generalized linear model. As a result, it affects the number of accidents that the number of passengers, the gap between platform and train, platform curve type and others.