

鉄道駅プラットホーム上の安全性評価モデルの構築

東京理科大学理工学部土木工学科 教授 寺部慎太郎

1. 研究の背景と目的

鉄道において最も重要なことは安全である。多くの人々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は珍しくない。

「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年度はプラットホームからの転落が3518件、プラットホ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。プラットホームからの転落件数およびプラットホームでの接触事故件数の推移を見ると約6割が酔客によるものである。そのため、酔客による事故発生を軽視することなく、されど一般の利用者が引き続き安全に鉄道を使い続けるためにもプラットホームの安全対策が必要である。

このように我が国の鉄道システムでは、利用者の転落や触車などの事故がしばしば発生しており、鉄道事業者はホームドア(可動式ホーム柵)や、センサー、カメラなどを設置して、事故を未然に防ぐ方策を取っている。しかしながら、その費用やプラットホーム構造および車両構造の制約により、安全対策は一朝一夕にできるものではない。

そこで本研究の目的は筆者ら⁴⁾が提案した駅ホーム安心安全評価手法を応用して、実際のプラットホ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。そしてこの安全性評価モデルの構築によって、鉄道事業者が安全対策を講じる際に、その有効性や優先順位を評価できるようにすることを目指す。すなわち、これまでに筆者らが研究してきた内容を基に、様々な交通事業者からデータを得て、モデルの構築、事業者間や路線間の比較を行うもので、将来的には安全性向上のための投資評価ができるようにしたい。

2. 既往研究

黒滝ら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、複数の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、独自の駅調査の結果から、プラットホームの事故件数回帰モデルを作成した。一般化線形モデルを用いることで、プラットホームの安全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. 分析に用いたデータの概要

(1) プラットホーム上事故データ

本研究では鉄道事業者から年度ごと駅プラットホーム別の駅ホーム事故データが提供された。ここで、プラットホーム上事故データとは、プラットホ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。相手方の年齢や酩酊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、本稿においては各社との契約に基づき、データ秘密保持のために事業者名は記号表記し秘匿化する。

(2) 駅調査データ

本研究では鉄道事業者の鉄道線各線のプラットホームにおいて、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。

(3) 研究の対象

対象となる鉄道事業者の路線には約500のプラットホームが存在し、そのうち一部のプラットホームのみで事故が報告されている。すべてのホームを詳細に調査することは困難であるため、調査を実施

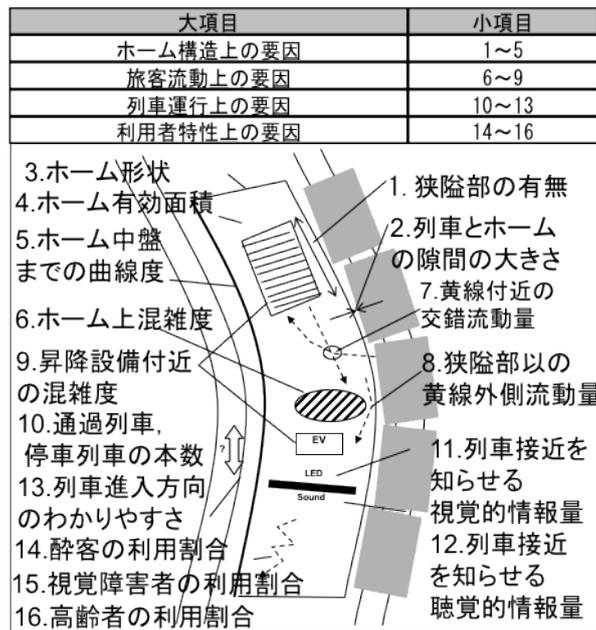


図-1 駅ホーム安全度評価

するには適切な所を選択する必要がある。そこで、各社の乗客数で上位30%を選択した。鉄道事業者Aから30駅、93プラットホーム、鉄道事業者Bから22駅、65プラットホームを選択した。合計で、52駅から158プラットホームを調査した。

この調査では、事故の種類も選択した。鉄道事業者Bのデータベースでは、隙間転落、踏み外しなどの少数の事故のみが報告されていた。その理由は、情報開示の規則にあった。すなわち、事故データベース全体にアクセスすることはできなかった。偏った分析を避けるために、本研究は転落事故に焦点を当てた。事故の総数は418だった。

図-2に月別の事故件数を示す。事故の総数は夏の間減少し、4月、11月、そして12月に増加している。データを集計する前に、年末の忘年会のため12月に、そして新年度の初めとして4月に多くの事故があると予測していた。12月には、多くの忘年会があるため、乗客は飲酒の影響を受ける可能性がある。4月には、多くの人々が新しい会社や学校に通うようになるので、彼らは鉄道に慣れていないことが予想される。12月の事故件数は多いものの、それほど多くはなかった。11月に多くの事故が報告された理由を鉄道事業者Aと話し合ったが、その理由はよくわからないということであった。

図-3は、1週間の日数ごとにまとめられた事故の数を示している。金曜日と土曜日の事故数はもっと多いことがわかる。これは、通勤混雑で乗客が押し出されるように転落するのではなく、飲酒した乗客が多いことが推察される。月曜日と火曜日には、鉄道事業者Bよりも鉄道事業者Aの方が事故が頻繁に発生している。

混雑した電車やプラットホームは、乗客が電車から乗降中にプラットホームの端から転落する原因と

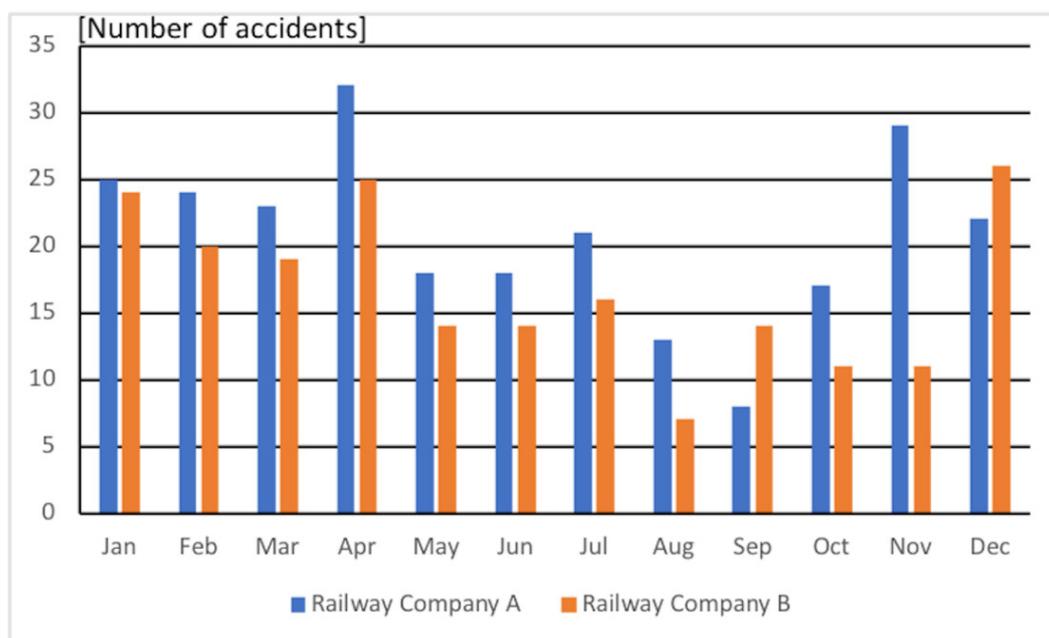


図 -2 月別に集計した事故件数

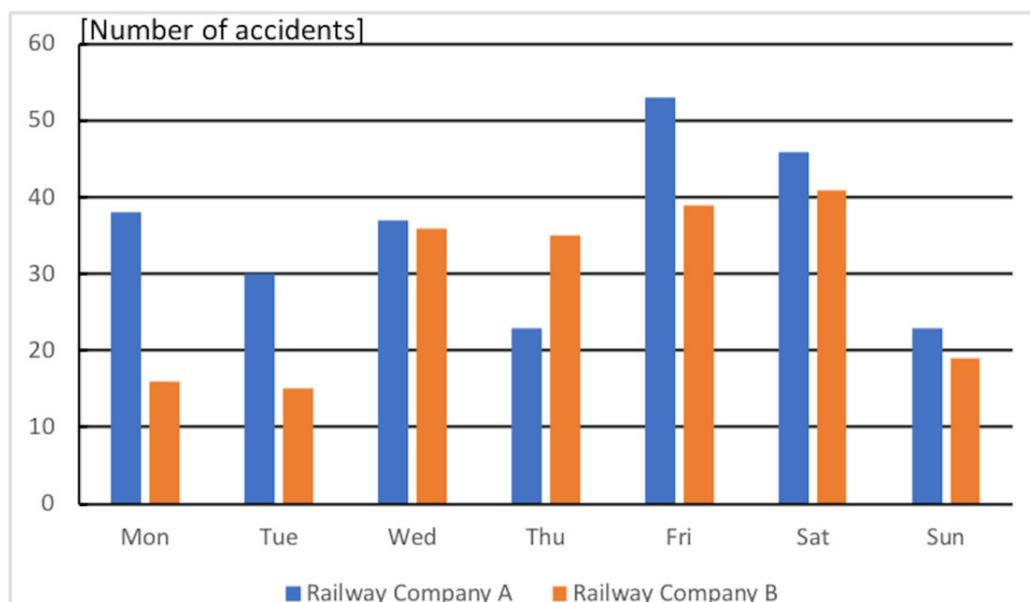


図 -3 曜日別に集計した事故件数

なる。いくつかの駅では、まだ乗降中のドアの近くの何人かの乗客は、その駅で降りたい他の乗客にスペースを譲るために一度降りなければならないことがある。混雑した列車がこれらの駅に到着すると、プラットフォームの端から転落する機会が増えると考えられる。

鉄道事業者 C は、データベースがそろっていないため、別の形式で集計した。

図 -4 に月別に集計した事故件数を年度別に示す。年度によって細かな違いはあるものの、夏に少なく、12月に多いという傾向は、鉄道事業者 A や B と似ている。ただし、4月は少ないほうで、5月に多くなっ

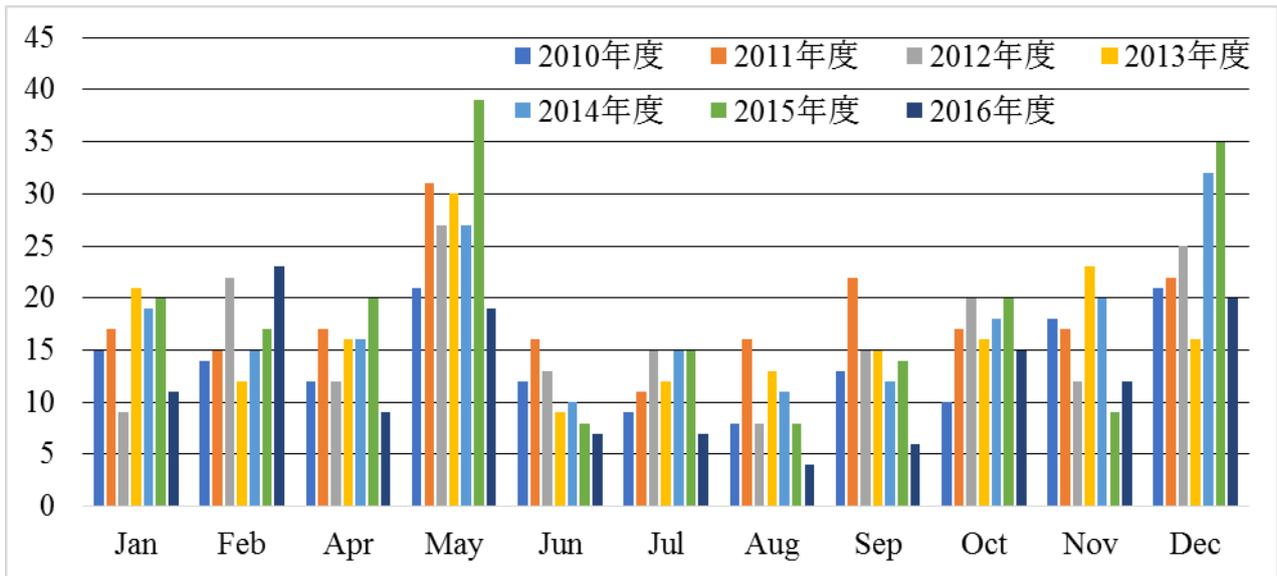


図-4 月別に集計した事故件数

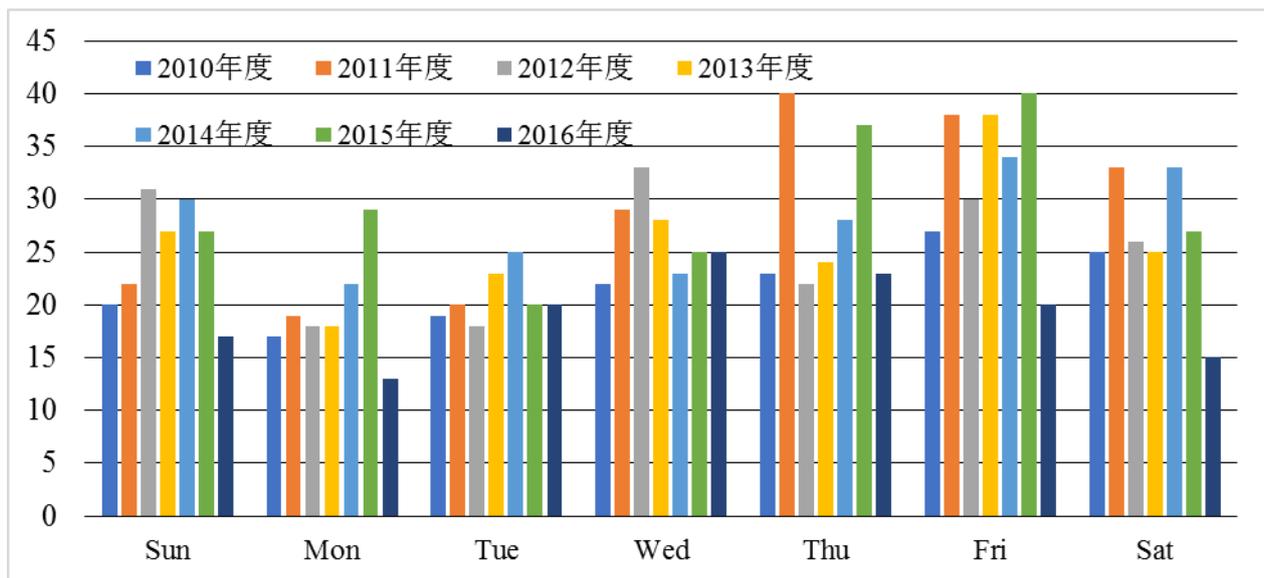


図-5 曜日別に集計した事故件数

ていることが特徴的である。

図-5に曜日別に集計した事故件数を年度別に示す。年度によって細かな違いはあるものの、週初めに少なく、週末に多いという傾向は、鉄道事業者 A や B と似ている。ただし、2011年度と2015年度の木曜日が他の年度に比べて突出していることが特徴的である。

4. 駅ホームごとの年間事故発生件数の推定

前章で説明したデータを用いて、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(表-1のModel 1)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Model 2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を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

表-1 ポアソン回帰モデルによる駅ホーム事故件数回帰モデル

変数名	Model 1	判定	Model 2	判定
定数項	-5.081	***	-4.662	***
Log(乗降客数)	5.594×10^{-2}			
狭隘部の長さ	-5.09×10^{-3}			
ホームと車両の隙間	1.05×10^{-1}	***	1.13×10^{-1}	***
ホーム面積	-3.389×10^{-4}			
凸型ホーム	-2.833×10^{-1}		-2.70×10^{-1}	**
凹型ホーム	-3.177×10^{-1}		-4.00×10^{-1}	*
ホーム上の動線交錯本数	-1.466×10^{-3}		1.057×10^{-3}	***
黄線外の歩行者流	3.746×10^{-3}	***	3.561×10^{-3}	*
通過停止列車数	1.401×10^{-3}		1.968×10^{-3}	*
列車接近の視覚表示数	6.031×10^{-2}			
列車接近の音声表示数	3.342×10^{-1}	**	2.681×10^{-1}	***
列車接近が異方向の島式ホーム	-3.836×10^{-1}			
列車接近が同方向の島式ホーム	9.747×10^{-1}	***	1.122×10^{-1}	***
高齢乗降客数	4.039×10^{-5}			
事業者Aダミー	9.631×10^{-1}	***	7.96×10^{-1}	***
適合度指標: AIC	1275.7		1267.6	
***:0.1%有意 **:1%有意 *:5%有意				

表 -2 負の二項分布モデルによる駅ホーム事故件数回帰モデル

変数名	Model 3	判定	Model 4	判定
定数項	-5.610	***	-4.498	***
Log (乗降客数)	1.071×10^{-1}			
狭隘部の長さ	-1.179×10^{-2}	*	-1.08×10^{-2}	*
ホームと車両の隙間	1.155×10^{-1}	***	1.00×10^{-1}	***
ホーム面積	-4.241×10^{-4}		-4.82×10^{-4}	
凸型ホーム	-4.200×10^{-1}			
凹型ホーム	-2.145×10^{-1}			
ホーム上の動線交錯本数	2.145×10^{-3}		2.033×10^{-3}	*
黄線外の歩行者流	3.575×10^{-3}	**	3.62×10^{-3}	**
通過停止列車数	-1.405×10^{-4}			
列車接近の視覚表示数	1.057×10^{-1}		1.282×10^{-1}	
列車接近の音声表示数	3.990×10^{-1}	*	3.527×10^{-1}	*
列車接近が異方向の島式ホーム	-3.998×10^{-1}		-5.10×10^{-1}	
列車接近が同方向の島式ホーム	8.229×10^{-1}	***	7.862×10^{-1}	***
高齢乗降客数	-3.634×10^{-5}			
事業者 A ダミー	1.186	***	1.345	***
適合度指標：AIC	1206.7		1200.1	

***:0.1%有意 **:1%有意 *:5%有意

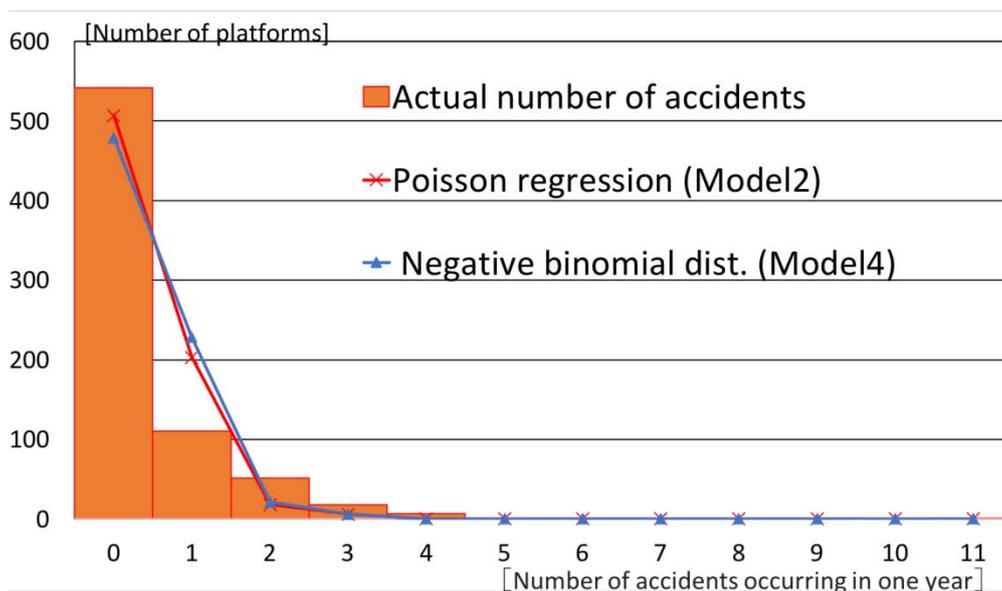


図 -6 駅ホーム事故件数の実数とモデルによる推計の比較

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。

続いて、負の二項分布による駅ホーム事故件数回帰モデルを作成した。その結果を表-2に示す。データや分析の手順は先ほどと同様である。

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-6に実際の事故件数と2つのモデルによる推計を比較したヒストグラムを示す。

この図において、ヒストグラムが実際の事故件数、折れ線グラフがモデルのパラメータ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ある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、モデル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。

5. 結論と今後の展望

(1) 結論

本研究では、鉄道事業者提供の事故データとその路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駅の構造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。

(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。

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